

А. Е. МИХАЙЛОВ, Н. С. РАММ

АЭРОМЕТОДЫ

при
геологических
исследованиях

А. Е. МИХАЙЛОВ, Н. С. РАММ

550,8

АЭРОМЕТОДЫ при геологических исследованиях

*Допущено Министерством высшего
и среднего специального образования
СССР в качестве учебного пособия
для студентов геологических
специальностей вузов*

1367-



МОСКВА «НЕДРА» 1975



Михайлов А. Е., Рамм Н. С. Аэрометоды при геологических исследованиях. М. «Недра», 1975, 198 с.

В книге рассмотрены особенности изображения на аэрофотоснимках всех основных групп горных пород: осадочных, эффузивных, интрузивных, метаморфических и новейшего континентального покрова. Слоистые толщи описаны с учетом условий их залегания: горизонтального, наклонного и складчатого. Уделено необходимое внимание характеристике изображения трещин и разрывов со смещениями; приведены основные приемы геоморфологического дешифрирования. Освещены методы геологического дешифрирования и дешифровочные признаки: прямые, косвенные, геоботанические. Изложены материалы по глубинному геологическому дешифрированию посредством изучения изображения мощного чехла новейших континентальных отложений и геоморфологических элементов; сообщаются сведения о применении дешифрирования космических фотоснимков, телевизионных космических снимков и других специальных видов дистанционного изучения земной коры. Рассматриваются возможности применения аэрометодов при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых. В книге описываются наиболее распространенные приемы инструментального геологического дешифрирования и дана характеристика применяемых при этом приборов. Указана методика определения качества аэрофотоматериалов и их геометрические свойства. Много внимания уделено измерительному дешифрированию: определению элементов залегания и мощностей пород, построению профилей местности и геологических разрезов, определению малоамплитудных превышений, измерению элементов разрывных нарушений. Освещается порядок обеспечения геологических исследований материалами аэросъемки.

Книга рекомендуется в качестве учебного пособия для студентов университетов и вузов при прохождении курсов «Аэрометоды геологических исследований», «Структурная геология и геологическое картирование» и геологам-производственникам в качестве справочного руководства.

Табл. 15, ил. 68, список лит. — 35 назв.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее учебное пособие составлено для студентов геологических факультетов вузов и университетов. В нем изложены приемы фотограмметрической обработки для геологических целей, методы геологического дешифрирования и использования аэрофотоматериалов при геологических исследованиях.

Пособие соответствует программе курса «Применение аэрометодов в геологии» объемом в 40—50 учебных часов на втором и третьем годах обучения. В соответствии с этим в нем не разбираются дешифрирование на универсальных стереоприборах, взаимосвязь картометрии и измерительного дешифрирования и некоторые другие существенные, но не вошедшие в программу вопросы. Предполагается, что сведения о производстве аэрофотосъемки, основных свойствах и топографическом дешифрировании аэроснимков студенты получают раньше, в курсе «Инженерная геодезия». В конце книги приведен перечень рекомендуемых лабораторных работ.

Главы 1, 2, 3, 13, 14 и разделы глав 5, 9, 15, касающиеся измерительного дешифрирования, написаны Н. С. Рамм, причем глава 13 и разделы главы 9 — совместно с А. М. Кузиной. Остальные главы и введение составлены А. Е. Михайловым.

Авторы приносят благодарность В. Н. Брюханову и М. Н. Петрусевичу, давших ценные советы и во многом способствовавших улучшению рукописи при подготовке ее к печати.

ВВЕДЕНИЕ

Первые фотографии с воздуха (с воздушного шара) были сделаны во Франции в 1855 г. Таким способом был составлен точный план Парижа.

Фотографирование земной поверхности с геологическими целями впервые применил французский геолог Эме Цивиаль (1858—1882 гг.). Им производилось фотографирование Альп с высоких вершин и выделение на фотоснимках геологических контуров.

С развитием авиации применение аэрофотосъемок быстро расширялось, особенно в военных целях и для составления топографических карт. Значительным событием было аэрофотографирование района Больших Медвежьих озер в Северной Америке в 1933 г., позволившее обнаружить крупные дайки рудоносных пегматитов.

После Великой Октябрьской социалистической революции первая аэрофотосъемка в нашей стране была произведена в 1918 г. в районе г. Тверь на площади 100 км². С 1925 г. начинаются систематические съемки с целью составления топографических карт неизученных территорий. Особенно широкий размах эти работы получили после появления в начале 30-х годов широкоугольных аэрофотокамер, позволяющих вести плановые съемки в мелких масштабах.

Применение аэрофотосъемки при геологических исследованиях в нашей стране было осуществлено в начале 30-х годов по инициативе академика А. Е. Ферсмана. При широком использовании аэроснимков в это время были изучены нефтеносные районы Ферганы и Азербайджана. Большие работы с применением аэровизуальных наблюдений были проведены С. В. Обручевым в 1933 г. в Восточной Сибири.

В 1931 г. при Ленинградском научно-исследовательском институте аэрофотосъемки, созданном в 1929 г., был организован специальный отдел по изучению геологии, ботаники и почв. В 1933—1935 гг. этим отделом в Средней Азии были проведены геологические и геоморфологические работы с применением материалов аэрофотосъемки, обобщенные А. В. Гавеманном (1937 г.). В 1939 г. в Московском геологоразведочном институте был введен специальный учебный курс «Геологическое дешифрирование аэрофотоснимков».

Весь накопленный опыт по применению аэрофотоматериалов при геологических работах был обобщен В. П. Мирошниченко в его книге «Аэрогеосъемка» (1946 г.).

В 1945 г. в Комитете по делам геологии при СНК была создана специализированная Аэрофотогеологическая экспедиция, реорганизованная в 1949 г. во Всесоюзный аэрогеологический трест (ВАГТ). За истекшее время ВАГТ выполнил широкие экспериментальные и методические исследования по применению аэрометодов в геологии практически во всех регионах нашей страны. В 1951 г. трестом были поставлены работы с применением цветных и в 1959 г. спектральных аэрофотоснимков.

Большой объем методических исследований в 40—50-х годах был выполнен также Лабораторией аэрометодов АН СССР (организована в 1944 г.), перешедшей в 1961 г. в ведение Министерства геологии СССР. Особого упоминания заслуживают результативные работы лаборатории по изучению геологического строения мелководных зон морского дна.

В период активного внедрения аэрометодов большую помощь геологам оказала книга М. Н. Петрусевича «Геологосъемочные и поисковые работы на основе аэрометодов», изданная в 1954 г. В 1962 г. им же опубликовано учебное пособие «Аэрометоды при геологических исследованиях», включающее большое количество примеров дешифрирования элементов геологического строения.

Результаты внедрения аэрометодов систематически освещаются в трудах Лаборатории аэрометодов и в тематических сборниках по использованию материалов аэрофотосъемки при среднемасштабном и крупномасштабном геологическом картировании и поисках полезных ископаемых, отражающих специфику работ в основных горнопромышленных районах нашей страны. Этим же вопросам посвящено большое количество статей в периодических и иных изданиях. В 1967 г. вышло в свет одно из немногих пособий по фотограмметрическим работам при геологическом дешифрировании (авторы В. М. Воевода, В. А. Глиндзич, Л. М. Циккель).

В 1971 г. Лабораторией аэрометодов под редакцией В. К. Еремина опубликовано методическое пособие по применению аэрометодов при геологических исследованиях. Это издание, иллюстрированное многочисленными примерами, является наиболее полным руководством по аэрометодам в нашей стране. В нем обобщен весь опыт, накопленный за прошедшие десятилетия, по изучению геологического строения земной поверхности с воздуха.

Из зарубежной литературы известностью пользуются книги А. У. Ирдли «Аэрофотоснимки, их применение и дешифрирование», У. Смит «Аэроснимки и их применение».

К аэрометодам в настоящее время принято относить комп-

Таблица использования различных участков спектра

Участки э.-м спектра Параметры	Гамма-диапазон	Рентгеновский диапазон	Ультрафиолетовый диапазон		Видимый диапазон		
			дальний	средний			
Длина волны	0,03 Å	0,3—100 Å	100—3000 Å	до 4000 Å	0,4—0,74 Мкм		
Частота, мГц	10 ¹⁴	10 ¹³ —10 ¹²	3×10 ¹⁶ —3×10 ⁹	8×10 ⁸	5×10 ⁸		
Метод аэросъемки	γ-съемка с высот не более 200 м	—	Ультрафиолетовая съемка	Люминесцентная съемка	Фотографическая съемка	Телевизионная съемка	
Глубинность	До 50 см	Микрометры	Микрометры	Менее 1 Мкм в твердых породах, до 10 м в воде			
Время наблюдения	Всепогодные		День	Только ночью	День		
Отношение метода к источнику излучения	Пассивное	Пассивное	Пассивное	Активное	Пассивное		
Получаемые данные	Радиоактивность (число импульсов)	График	Сигнал, график, изображение	Снимок, сигнал, график, изображение	Аэроснимок	Изображение поверхности, отражательная характеристика	
Цель применения в геологии (с самолета и космических носителей)	Поиски радиоактивных руд, расчленение гранитоидов (γ-спектроскопия)	Не применяется	Не изучено. Сильно поглощается атмосферой	Поиски люминесцирующих объектов (минералов нефти)	Основные сведения о строении поверхности и отражательных свойств природных объектов. Основные, при геологических исследованиях дистанционными методами		

Таблица 1

электромагнитных колебаний при аэросъемке

	Инфракрасный диапазон			Радарный диапазон	Радио-диапазон	
	ближний	средний	дальний			
0,4—0,74 Мкм	0,74—1,35 Мкм	1,35—5,5 Мкм	5,5—1000 Мкм	0,3—100 см	100 см	
5×10^8	10^8	10^7	10^6	2×10^4 — 3×10^3		
Спектрометрическая съемка	Инфракрасная съемка			Радиотепловая съемка	Радиолокационная съемка	
	Микрометры			См—м (?), зависит от рыхлости пород	Десятки сантиметров—метров (?)	Десятки—сотни метров (?)
День	День, ночь			Всегодние		
Пассивное	Пассивное			Пассивное	Активное	Активное
График, спектральные характеристики	Аэроснимок, изображение			Сигнал, график, изображение		Сигнал, график
	Изображение поверхности с температурными контрастами	Температурные данные, косвенно—строение поверхности		Микроформы рельефа, температурные данные	Рельеф, структурные элементы	
Вертикальные температурные профили и содержание водяного пара в атмосфере	Границы расселения различной растительности; тектонические разрывы	Съемка объектов, различающихся по температуре (от 0,5°). Изучение вулканической деятельности, проявлений термальных вод, окисленных зон рудных месторождений, распространение литологических комплексов		Определение типов, пород по пористости и увлажненности, изучение карста, пустот, тектонических элементов	Получение электрических характеристик, съемка рельефа, тектонических элементов	Изучение электропроводящих тел

лекс методов изучения земной поверхности с воздуха, выполняемых визуально или с помощью различных приборов с последующим анализом полученных данных наземными контрольными работами.

Различают четыре группы аэрометодов: аэровизуальные, аэрофотографические, фотоэлектронные и аэрогеофизические. Последняя группа в настоящей работе не рассматривается.

Аэровизуальные методы связаны с непосредственным наблюдением исследуемых объектов с воздуха. Получаемые результаты переносятся на карты, записываются на магнитофонную ленту; возможно также использование кино- и фотокамер.

Аэрофотографические методы являются наиболее универсальными и эффективными по широте применения при геологических исследованиях и в народном хозяйстве. Современные фотографические аппараты, негативные пленки и другие материалы позволяют получать изображения объектов в видимой и близкой к ней части спектра в любых нужных масштабах. По аэрофотоснимкам в камеральных условиях с помощью оптических приборов можно создать объемную модель местности в заданном масштабе, по которой с большой точностью определить нужные параметры исследуемого объекта и установить качественные и количественные его признаки.

При применении аэрофотографических методов большое значение имеет выбор фотоматериалов. Наибольшим применением пользуются черно-белые аэроснимки; неуклонно расширяется использование цветных и спектрзональных съемок.

Черно-белые аэроснимки передают изображение поверхности земли в черно-белых тонах. При нормальном зрении без особого напряжения между белым и черным цветами удается различать 32—35 оттенков.

Широкое применение при геологических работах нашли цветная и спектрзональная аэрофотосъемки. Цветные аэроснимки дают изображения, в большой степени приближающиеся к естественным цветам геологических объектов, что может служить основным признаком при дешифрировании аэроснимков.

Спектрзональная съемка заключается в фотографировании объектов в двух различных зонах спектра, включая невидимые ультрафиолетовую и инфракрасную зоны. Спектрзональное фотографирование основано на свойствах объектов в неодинаковой степени отражать различные лучи спектра. При этом применяются цветные двухслойные пленки, позволяющие на одном снимке получать перекрывающие друг друга изображения в условных цветах, что значительно увеличивает контрастность цветного изображения деталей объекта.

Фотоэлектронные методы получили распространение лишь в последнее десятилетие. В отличие от аэрофотографических ме-

тодов, использующих узкий спектр излучений только в видимом диапазоне, фотоэлектронные аэрометоды дают возможность вести изучение излучающих, отражающих и проникающих свойств электромагнитных колебаний в различных геологических объектах с длиной волны от 0,03 Å до 100 см и частотой колебаний от 10^{14} мГц до радиодиапазона (табл. 1). Регистрация колебаний производится на магнитной ленте, электронно-лучевой трубке или иными детекторами, позволяющими в дальнейшем передать их на фотопленку и фотобумагу. Получаемое таким путем фотоизображение может быть плановым или перспективным, но пока еще фотоэлектронные методы, позволяющие создать объемное представление об исследуемых объектах, разработаны недостаточно.

В зависимости от использования длины волны электромагнитных колебаний различают несколько фотоэлектронных методов, сведения о которых приведены в табл. 1. В ней указаны также возможности применения каждого из методов в геологии и получаемые данные.

Особое место в фотографировании занимает съемка земной поверхности из космического пространства. Снимки, получаемые с метеорологических и искусственных спутников Земли (масштаба 1 : 1 000 000 и мельче), открывают широкие возможности для геологического районирования, выявления глубинных структур земной коры, закономерностей размещения природных ресурсов.

Аэрометоды вошли необходимой составной частью во все виды геологических исследований. На их основе производятся геологосъемочные и поисковые работы всех масштабов, изучение тектоники, новейших движений, структуры рудных полей, геологическое изучение морских мелководий, гидрогеологическое и инженерно-геологические изыскания, геоморфологические и географические исследования, установление гидрогеологического режима территорий и т. д. По существу ни одно геологическое задание, так или иначе связанное с изображением результатов его выполнения на топографической основе, не может быть правильно и объективно решено без применения аэрометодов.

Глава I

АЭРОФОТОСЪЕМКА

Основные понятия

Плановая аэрофотосъемка — фотографирование местности с самолета (или вертолета), при котором аэрофотоаппарат (АФА) установлен в вертикальном положении, а экспонируемая фотопленка — в горизонтальной плоскости.

Площадная аэрофотосъемка — сплошная аэрофотосъемка участка местности, проводимая при постоянной высоте полета несколькими прямолинейными, параллельными, равноотстоящими маршрутами.

Для дешифрирования обычно используется именно плановая площадная аэрофотосъемка и ниже речь будет идти главным образом о ней. Для краткости в дальнейшем будем именовать ее просто аэросъемкой.

Случай, когда перечисленные выше условия соблюдены точно, называется идеальным случаем аэросъемки. Практически он никогда не достигается. Чем ближе аэросъемка к идеальному случаю, тем выше ее фотограмметрическое качество. Отклонения от идеального случая не должны превышать установленных инструкциями допусков.

Масштаб аэроснимка. В идеальном случае аэроснимок плоской горизонтальной местности является точным планом этой местности; масштаб его равен отношению фокусного расстояния АФА к высоте фотографирования (т. е. к длине отрезка вертикали от точки расположения АФА в момент фотографирования до местности). Докажем это.

На рис. 1: P — плоскость аэроснимка, E — поверхность снятой местности, S — центр объектива; o — центр, или главная точка, снимка (точка пересечения с главной оптической осью объектива) $oS=f$ (фокусному расстоянию АФА), $OS=H$ (высоте полета самолета); AB и ab — произвольный отрезок местности и идентичный ему отрезок на аэроснимке, Aa и Bb — проектирующие лучи точек A и B . Из рисунка следует, что пирамиды $aboS$ и $ABOS$ подобны. Следовательно, отношение их сходственных сторон равно отношению их высот, поэтому и масштаб изображения отрезка AB , т. е. отношение длины ab к длине AB , равен $f:H$. Поскольку ab — произвольный отрезок

аэроснимка. это означает, что масштаб изображения постоянен, аэроснимок P подобен местности E и является ее точным планом, масштаб которого

$$M = \frac{f}{H}.$$

В дальнейшем всегда будем выражать длины отрезков на аэроснимке и величину f в миллиметрах, а длины отрезков на местности и величину H — в метрах. В силу этого условия предыдущая формула принимает вид:

$$M = 10^{-3} \frac{f}{H}. \quad (1)$$

Поскольку местность имеет превышения (рельеф), а аэро-съемка отклоняется от идеального случая, расположение точек реального аэроснимка несколько отличается от их расположе-

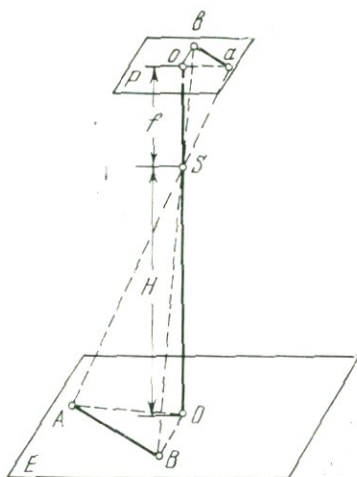


Рис. 1. Изображение плоской местности в идеальном случае аэро-съемки

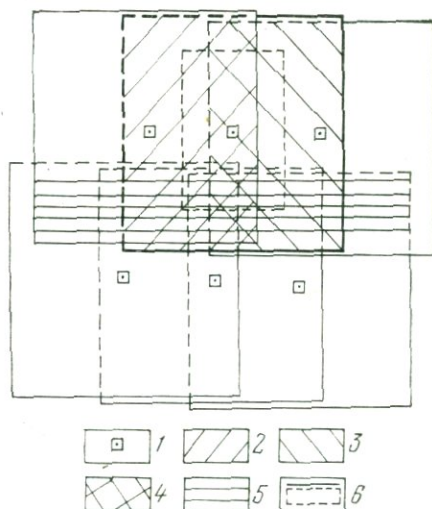


Рис. 2. Соседние аэроснимки двух смежных маршрутов, наложенные друг на друга по идентичным контурам фотозображения.

1 — центры снимков; 2 и 3 — зоны продольного перекрытия выделенного снимка; 4 — зона тройного перекрытия; 5 — зона поперечного перекрытия с нижним маршрутом; 6 — граница полезной площади

ния на плане M . Эти отличия называются фотограмметрическими искажениями.

Продольное и поперечное перекрытия. Долю площади аэроснимка, перекрываемую смежным снимком того же маршрута (т. е. изображающую идентичные с ним точки местности), называют продольным перекрытием. Продольное перекрытие выражается в процентах; оно задается постоянным, обычно равным 60%. Таким образом (рис. 2),

каждая точка местности изображается хотя бы на двух смежных снимках маршрута, а вблизи центра каждого снимка имеется зона тройного перекрытия. Перекрывающиеся аэроснимки образуют стереопару, позволяющую стереоскопически рассматривать и измерять объемную модель (стереомодель) местности в зоне их перекрытия. При продольном перекрытии более 50% каждая точка попадает на какую-либо из стереопар.

Долю площади маршрута аэросъемки, перекрываемую снимками смежного маршрута (выраженную в процентах), называют поперечным перекрытием. Оно задается постоянным, обычно равным 30%. Поперечное перекрытие необходимо для связи соседних маршрутов. Центральная часть аэроснимка, доходящая до середины зон продольного и поперечного перекрытия, называется его полезной площадью.

Специальные виды аэросъемки. В отдельных случаях геологусъемщику приходится иметь дело со специальными видами аэросъемки. Укажем основные из них.

Плановая маршрутная аэросъемка выполняется одним или несколькими не связанными между собой (не имеющими поперечного перекрытия) маршрутами, которые могут быть как прямолинейными, так и криволинейными. Назначение маршрутной аэросъемки может быть различным. Так, например, при аэросъемке площади на самолете иногда устанавливают второй (дополнительный) АФА, фокусное расстояние которого в несколько раз больше, чем у основного. Согласно формуле (1) аэроснимки дополнительного АФА имеют во столько же раз более крупный масштаб и изображают относительно узкие, не перекрывающиеся между собой полосы местности вдоль линии центров (оси) каждого маршрута основной аэросъемки. Такая маршрутная аэросъемка позволяет выявить дешифрировочные признаки по крупномасштабным аэроснимкам и распространить их затем на аэроснимки всей площади.

Отдельными криволинейными маршрутами фотографируются долины рек, линия морского берега и т. д. Это значительно ускоряет и удешевляет аэросъемку вытянутых криволинейных объектов, но ухудшает ее фотограмметрическое качество.

Маршрутная аэросъемка используется также для фотопривязки аэровизуальных наблюдений и аэрогеофизической съемки. В последнем случае она выполняется в очень крупном масштабе (порядка 1:1000), причем высота полета может быть не постоянной, а повторяющей в общих чертах профиль местности.

Выборочная аэросъемка отдельными кадрами иногда также применяется для фотопривязки.

Перспективная аэросъемка производится АФА, оптическая ось которого отклонена на заданный значительный угол от вертикали в направлении, перпендикулярном к линии

полета. Обычно этот наклон составляет 30—60°. На перспективных аэроснимках может получиться изображение вертикальных объектов местности в масштабе, значительно более крупном и более стабильном в пределах кадра, чем на плановых аэроснимках. Вследствие этого перспективную аэро съемку используют для фотографирования карьеров, береговых обрывов и т. д. На перспективных аэроснимках изображение местности аналогично наблюдаемому с самолета или с возвышенности, что иногда полезно как для дешифрирования, так и для фотопривязки аэровизуальных наблюдений. Основные недостатки перспективных аэроснимков — сложность переноса отдешифрированных на них данных на топографическую карту и очень ограниченные возможности стереонаблюдений и стереонизмерений.

Высотная аэро съемка — это аэро съемка, выполняемая при высоте полета над уровнем моря более 6000—7000 м. Она применяется для получения аэроснимков горных районов и мелкомасштабных аэроснимков масштаба 1 : 100 000 — 1 : 300 000. Мелкомасштабные аэроснимки обладают большой сборностью и позволяют легче выявлять крупные геологические структуры и правильнее интерпретировать их, чем аэроснимки более крупного масштаба.

Космической фотосъемкой (космофотосъемкой) называется фотосъемка поверхности Земли, производимая с космических кораблей, искусственных спутников Земли и орбитальных станций. Она позволяет получить фотонизображение целых регионов или даже материков. Местные различия растительности, хозяйственного освоения территории и т. д. передаются на космических снимках слабее, чем на аэроснимках. Обе эти особенности обуславливают большую ценность космических снимков для выявления и интерпретации крупных структур, планетарной трещиноватости и иных геологических объектов, маскируемых даже на высотных аэроснимках растительностью, рыхлыми отложениями, следами деятельности человека, различным освещением и разным уровнем влажности. Вследствие этого космическая фотосъемка находит все большее применение в геологических исследованиях. Фотосъемка с пилотируемых космических кораблей и спутников ведется главным образом в масштабах 1 : 500 000—1 : 5 000 000, а с межпланетных станций в масштабах 1 : 10 000 000—1 : 100 000 000.

Природные условия аэро съемки

Использование аэро съемки для геологических целей основано в конечном счете на том, что отражательная способность каждого участка местности, с одной стороны, связана с его геологическим строением, а с другой — определяет оптическую плотность (степень непрозрачности) идентичного участка аэро-негатива и фототон (степень потемнения) аэроснимка. Однако

фотоизображение ландшафта существенно меняется в зависимости от условий освещения, состояния атмосферы, фазы вегетации растительного покрова и степени увлажненности почвы. Вследствие этого при дешифрировании аэроснимков нужно учитывать влияние природных условий, существовавших в момент аэросъемки, на фотоизображение, а при заказе аэросъемки выбирать оптимальные природные условия.

Контрасты объектов местности. Контрастом двух объектов, яркости которых B_1 и B_2 ($B_1 \geq B_2$), называется величина

$$K = \frac{B_1 - B_2}{B_1}. \quad (2)$$

Объекты, у которых $K=1$, называются объектами абсолютного контраста. Контраст, близкий к абсолютному, имеют, например, свежеснеженный снег на фоне хвойного леса или солнечный блик (зеркально отраженный солнечный свет) на фоне остальной поверхности водоема, т. е. объекты, яркость одного из которых пренебрежимо мала по сравнению с яркостью другого.

Объекты, имеющие большой контраст, называют контрастными, а малый — малоконтрастными. Иногда выделяют также объекты среднего контраста. Границы между большим, средним и малым контрастом условны. В дальнейшем изложении объекты считаются контрастными при $K > 0,5$ и малоконтрастными при $K < 0,2$.

Минимальный, или пороговый, контраст, различимый человеческим глазом при наиболее благоприятных условиях наблюдения, равен 0,02, а передающийся на аэроснимке — 0,05.

Преобладающее большинство геологически значимых элементов ландшафта малоконтрастны. Вследствие этого внешние факторы формируют облик ландшафта не в меньшей, а иногда и в большей степени, чем его строение. Рассмотрим основные из них.

Влияние влажности. Влажность снижает яркость природных объектов, особенно рыхлых отложений, не покрытых сплошной растительностью, и создает средние или даже большие контрасты между сухими и влажными участками идентичного строения.

Если аэросъемка распаханых земель, степных или полупустынных районов произведена весной, до начала вегетации и полного просыхания почвы, то глубинные структуры, от которых зависит скорость и степень просыхания, «просвечивают» сквозь почву и хорошо дешифрируются на аэроснимках. После полного просыхания почвы контрасты исчезают, и на аэроснимках, снятых позднее, обнаружить эти структуры уже нельзя. Различие влажности обычно способствует и выделению рыхлых отложений разного возраста и состава. Однако на песчаных пляжах и в пойме рек контрасты, зависящие от влажности,

чаще вызваны различиями уровня отдельных участков береговых отложений, а не геологическими факторами.

Влияние условий освещения. Как правило, аэросъемка производится в ясную погоду. Однако на высотных и особенно на космических снимках встречается изображение как облаков, так и теней от них. Затененные участки имеются также на аэроснимках горных и лесных районов. В тени находятся крутые склоны и местность у их подножия (например, дно ущелья). Контраст затененных и освещенных Солнцем склонов приближается к абсолютному и получить качественное изображение тех и других на одном аэроснимке чрезвычайно трудно. Поэтому аэросъемку горных районов обычно проводят тогда, когда площадь затененных участков наименьшая, т. е. при максимальной высоте Солнца. Объекты, оставшиеся несмотря на это в тени, на аэроснимке, как правило, не прорабатываются.

От высоты и азимута Солнца зависит и яркость освещенных Солнцем склонов. Обращенные к Солнцу участки освещены интенсивнее наклоненных в противоположную сторону. Между ними возникают тем большие контрасты, чем больше их крутизна. Вследствие этого утренние и вечерние аэроснимки горного ландшафта очень сильно различаются между собой.

С увеличением высоты Солнца контрасты противоположных склонов уменьшаются. При дешифрировании одиночного аэроснимка границы между склонами с идентичным строением, но разной ориентацией трудно отличить от контура местности. Если же наблюдать стереомодель и учитывать влияние условий освещения, то возможность ошибок исключается. При аэросъемке плоскоравнинной незалесенной местности рассматриваемые контрасты полезны, так как они подчеркивают детали микрорельефа, трудно различимые даже на стереомодели вследствие их плавности. Чтобы использовать их, следует производить аэросъемку при малых высотах Солнца.

Идентичные объекты, изобразившиеся в разных частях одного аэроснимка или на смежных снимках, проектируются в момент аэросъемки лучами разного направления, вследствие чего условия их освещения оказываются различными. Так, например, участки леса или каменной россыпи, фотографируемые в направлении от Солнца, вдоль хода солнечных лучей, не содержат изображения затененных элементов и получаются наиболее яркими. Вблизи центра аэроснимка их изображение строится с участием теней, находящихся между деревьями или камнями, и получается менее ярким. Это одна из многих причин того, что фототон идентичных объектов меняется по полю снимка и при переходе от одного снимка к другому и является ненадежным дешифровочным признаком.

Воздушная дымка. Слои атмосферы, находящийся между объективом АФА и поверхностью Земли, имеет некоторую яркость, вызываемую рассеянием прямого солнечного света. Это

явление называют воздушной, или атмосферной, дымкой. Воздушная дымка создает фон, существенно снижающий контрасты природных объектов. Ее влияние зависит от высоты фотografiрования, влажности и загрязненности атмосферы и высоты Солнца.

При высоте фотografiрования менее 0,5 км влияние дымки обычно незначительно. При увеличении высоты до 3 км оно растет пропорционально высоте, далее рост замедляется и начиная с высоты 7—10 км практически останавливается.

Оптические свойства атмосферы, определяющие яркость воздушной дымки, достаточно хорошо отражаются величиной дальности видимости. Дальность видимости 50 км и более считается исключительно хорошей, 30 км — хорошей, 20 км — удовлетворительной. При дальности видимости менее 10 км аэросъемка не производится.

Влияние дымки на качество аэросъемки иллюстрируется табл. 1а. В ней приведены ориентировочные значения минимальных контрастов объектов местности, еще различимых на аэроснимках. Поскольку воздушная дымка снижает контраст между темными объектами местности сильнее, чем между светлыми, в таблице представлены объекты обоих видов. Таблица рассчитана для аэросъемки, проведенной с высоты 5—6 км, при оптимальных технических условиях.

Таблица 1а

Минимальный контраст объектов, еще различимых на аэроснимке в зависимости от дальности видимости и высоты Солнца

Тип объектов и дальность видимости	Высота Солнца				
	15°	20°	30°	45°	60°
Светлые объекты, 30 км	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06
Темные объекты, 30 км	0,15	0,14	0,12	0,10	0,09
Светлые объекты, 10 км	0,12	0,11	0,09	0,08	0,07
Темные объекты, 10 км	0,31	0,26	0,20	0,16	0,14

Как уже говорилось, практически все естественные объекты местности имеют контрасты $K \leq 0,20$. С учетом этого из табл. 1а видно, что даже при наиболее благоприятных условиях аэросъемки (дальность видимости 30 км, высота Солнца 45—60°), влияние воздушной дымки приводит к заметному уменьшению количества дешифрируемых объектов. Уменьшение высоты Солнца до 15—20° даже при дальности видимости 30 км приводит к тому, что большинство темных объектов местности сливается на аэроснимке в один общий тон, без проработки деталей. Теряется также значительная часть объектов средней яркости и некоторые из наиболее ярких

Яркость воздушной дымки зависит также от спектрального состава света. В фиолетовой части видимого спектра она наибольшая, с увеличением длины волны света уменьшается и в красной части спектра — наименьшая. Вследствие этого для уменьшения влияния воздушной дымки при аэро съемке, как правило, используют светофильтры, отсекающие сине-фиолетовую часть спектра. Светофильтр уменьшает влияние дымки, но устраняет его далеко не полностью.

Выбор сезона аэро съемки. Аэро съемочный период начинается весной, после полного освобождения поверхности Земли от снега и паводковых вод и продолжается до первого осенне-зимнего снегопада. В течение этого периода аэро съемку можно проводить только в ясные (безоблачные) дни, при хорошей видимости. На севере и северо-востоке страны, в зонах тундры и лесотундры аэро съемочный период продолжается всего 4—6 недель и ежегодно бывает только несколько дней, пригодных для аэро съемки. При переходе от лесотундры к тайге и далее на юг, вплоть до зоны пустыни, аэро съемочный период удлиняется и появляется возможность более свободного выбора срока аэро съемки в зависимости от фазы вегетации, сезонного изменения влажности почвы, высоты Солнца и прозрачности атмосферы.

Значения высоты Солнца, нужные для такого выбора, приведены, например, в Указаниях по обеспечению материалами аэро фотосъемки.

Наибольшая высота Солнца достигается в мае, июне и июле и мало меняется в течение этого периода. К концу августа она в большинстве районов становится недостаточной, что является существенным аргументом против осенних аэро съемок.

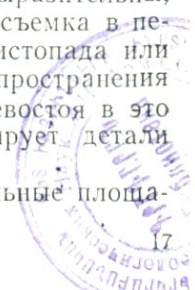
Дальность видимости чаще всего уменьшается в разгар лета, т. е. в июне — июле в равнинных южных районах и в июле в более северных.

В таежной зоне, как правило, предпочтительны аэро снимки, сделанные в начале аэро съемочного периода, до полного развития хвои и лиственниц и листвы у листопадного подлеска.

В зоне смешанных лесов выделяются периоды до начала вегетации и до полного развития листвы, а также период ее пожелтения. Каждому из них свойственны свои дешифровочные признаки, т. е. аэро снимки, снятые в разные фазы вегетации, дополняют друг друга. Как правило, предпочтительна весенняя аэро съемка при неполном развитии листвы.

В том случае, если геоботанические признаки выразительны, хорошие результаты дает летняя аэро съемка или съемка в период пожелтения листвы. Аэро съемка во время листопада или после него нежелательна, особенно в районах распространения рыхлых пород. Геоиндикационные особенности древесной растительности в это время не выявляются, а опавшая листва маскирует детали геологического строения местности.

В лесостепных и степных районах, где значительные площа-



ди заняты сельскохозяйственными угодьями, оптимальный период аэросъемки — после распахки, до полного высыхания почвы и появления густого растительного покрова. Структуры, «просвечивающие» сквозь почвенно-грунтовой покров, дешифрируются, как правило, только при аэрофотографировании в этот период.

В пустынных или полупустынных районах аэросъемку также лучше всего выполнять весной, до полного высыхания почвы. Допустима и осенняя съемка, когда увлажнение почвы вновь увеличивается, а высота Солнца еще достаточно велика.

В высокогорных районах аэросъемочным периодом считается период, в течение которого площадь, покрытая снегом, минимальна. Обычно он начинается в июне и заканчивается в августе или сентябре. Поскольку для аэросъемки таких районов максимальная высота Солнца особенно существенна, желательно снимать их не позже середины июля.

Выбор времени суток. В мае, июне и июле почти во всех районах СССР Солнце имеет высоту порядка 40° или более в течение 5—7 часов. Этот период дня и следует использовать для аэросъемки.

В горных районах с сильно расчлененным рельефом, где требуется максимальная высота Солнца, съемочное время ограничивают четырьмя-пятью околополуденными часами. В случае надобности можно произвести двукратную аэросъемку так, чтобы азимуты Солнца при первой и второй съемке различались на 90 — 120° , а высота Солнца в обоих случаях была близка к максимальной. Такая двукратная аэросъемка позволяет получить качественное изображение практически всей поверхности горного района.

Крупномасштабную аэросъемку плоскоравнинной незалесенной местности предпочтительно вести при высоте Солнца 20 — 40° , в утренние или вечерние часы. При этом на аэроснимках лучше выделяются участки с различным микрорельефом и разной плотностью растительного покрова.

Технические условия аэросъемки

Технические условия определяются выбором типа АФА, выдержки и диафрагмы, светофильтра, аэропленки, продольного и поперечного перекрытия аэроснимков, а также использованием вспомогательного аэрофотосъемочного оборудования и условиями фотохимической обработки.

Аэрофотоаппараты. Современные АФА — автоматические фотоаппараты, управляемые с помощью командного прибора, на котором устанавливается заданное продольное перекрытие или же интервал фотографирования и требуемая выдержка. Основные характеристики существующих АФА приведены, например, в книге Е. П. Аржанова и В. Б. Иль-

ина «Аэрофотосъемочное оборудование» (М., «Недра», 1972). К ним относятся фокусное расстояние, угол зрения, разрешающая способность, степень падения освещенности к краям кадра, относительное отверстие объектива и диапазон выдержек.

Угол зрения — одна из наиболее существенных характеристик каждого АФА, влияющая на область его применения. Он определяется как наибольший угол между проектирующими лучами, строящими изображение на аэроснимке, т. е. как угол между лучами, идущими от центра объектива к противоположным углам фотографируемого кадра. Угол зрения 2β связан с фокусным расстоянием f и диагональю кадра l зависимостью $\text{tg}\beta = \frac{l}{2f}$. В зависимости от величины угла зрения различают

сверхширокоугольные, широкоугольные (короткофокусные), нормальноугольные и узкоугольные (длиннофокусные) АФА. АФА со стороной кадра более 23 см называют крупноформатными, а со стороной менее 18 см — малоформатными.

По сравнению с нормальноугольными АФА широкоугольным и особенно сверхширокоугольным присущи следующие особенности:

1) меньшая разрешающая способность по всему полю кадра, кроме небольшой центральной части (в радиусе 2—3 см от центра снимка), означающая потерю малоконтрастных контуров и мелких деталей фотоизображения;

2) значительное уменьшение плотности изображения идентичных объектов от центра к краю кадра (падение освещенности), препятствующее использованию фототона в качестве дешифровочного признака и фотографированию на цветные аэропленки;

3) достижение заданного масштаба аэросъемки при меньшей высоте фотографирования, связанное с тем, что широкоугольные АФА являются короткофокусными, а высота фотографирования при заданном масштабе аэросъемки обратно пропорциональна фокусному расстоянию. Эта особенность позволяет производить мелкомасштабную и даже сверхмелкомасштабную аэросъемку при отсутствии высотных самолетов, уменьшает влияние воздушной дымки при крупномасштабной аэросъемке и позволяет в случае необходимости выполнять ее под сплошной облачностью;

4) большее вертикальное растяжение стереомодели, подчеркивающее детали микрорельефа местности и существенно увеличивающее точность стереофотограмметрического определения превышений, но связанное с увеличением фотограмметрических искажений аэроснимка, вызванных рельефом местности.

Особенности узкоугольных АФА в значительной степени противоположны особенностям широкоугольных. Именно их разрешающая способность того же порядка, что и у нормальноугольных АФА, и мало меняется по полю снимка, заметно

убывая лишь к самому его краю. Фототон изображения идентичных объектов мало меняется в пределах аэроснимка и даже всего маршрута аэросъемки; высота фотографирования увеличена; превышения местности наблюдаются хуже и измеряются менее точно, однако искажения одиночного снимка, вызванные рельефом, ослаблены.

Для геологического дешифрирования аэросъемку в большинстве случаев целесообразно производить нормальноугольными АФА: ТЭ-140 и ТЭ-200. АФА ТЭ-140 это топографический АФА с фокусом 140 мм и форматом кадра 180×180 мм. Его разрешающая способность меняется от 35 линий на мм в центре кадра до 20 линий мм на краях, максимальное относительное отверстие равно $1/6,8$, диапазон выдержек — от 1,75 до $1/300$ секунды. Остальные АФА, наиболее распространенной в СССР серии ТЭ, отличаются от АФА ТЭ-140 фокусным расстоянием (входящим в название каждого из них), а следовательно — углом зрения и всеми связанными с ним характеристиками.

Крупномасштабную аэросъемку районов с сильно расчлененным рельефом предпочтительнее вести узкоугольными АФА ТЭ-350 или даже ТЭ-500, а аэросъемка высокогорных районов должна быть высотной, с использованием в зависимости от пистолка самолета узкоугольных или нормальноугольных АФА. Широкоугольные и сверхширокоугольные АФА используют в основном для составления топографических карт и для фотопривязки.

Выдержка, диафрагма и сдвиг изображения. При выдержке (времени экспонирования) порядка $1/150$ сек и более качество изображения существенно ухудшается вследствие влияния колебаний самолета и АФА в полете, а также из-за сдвига изображения (сдвига летящего самолета относительно фотографируемой местности за время экспонирования). Вследствие этого в современных АФА выдержки стремятся свести к минимуму, компенсируя это увеличением относительного отверстия объектива АФА, т. е. отношения диаметра объектива к его фокусному расстоянию. Увеличение относительного отверстия в 1,4 раза, в 2 раза и т. д. позволяет при прочих равных условиях уменьшить выдержку в 2 раза, 4 раза и т. д., так как светосила объектива пропорциональна квадрату относительного отверстия. Сдвиг изображения более $0,03—0,05$ мм нежелателен, а более $0,10—0,15$ мм допустим лишь при фотопривязке. Вследствие этого для аэросъемки в масштабе $1:1000$ и крупнее, а также для аэросъемки со скоростных самолетов применяют АФА с компенсацией сдвига изображения. Компенсация достигается введением в АФА тех или иных подвижных элементов. Она несколько нарушает геометрию изображения и применима только у нетопографических АФА.

В новых АФА ведущих иностранных фирм компенсация сдвига обычно не предусматривается, так как их светосильные

объективы и высокоскоростные затворы позволяют практически во всех случаях аэросъемки получать допустимые значения сдвига.

Аэрофотоустановка и гиросtabilизирующая установка.

Спецприборы. Вследствие неоднородности воздушных масс и нестабильности работы двигателей самолет испытывает угловые колебания, приводящие, как уже говорилось, в некотором размыванию фотонизображения и к случайным отклонениям оптической оси АФА от вертикали. Чтобы уменьшить влияние этих факторов, АФА устанавливают в амортизирующей аэрофотоустановке. При аэросъемке для топографических целей, как правило, используют гиросtabilизирующую установку (или гиросtabilизацию) Н-55. При аэросъемке без гиросtabilизации отклонение оси АФА от вертикали в момент экспозиции (называемое также углом наклона аэроснимка, или наклоном аэроснимка) в среднем равно $1^{\circ},5$ и может достигать 3° . Большие отклонения являются браком, и аэросъемка, при которой они были допущены, дублируется. Применение гиросtabilизации Н-55 позволяет уменьшить средние углы наклона до $20-40'$. Для геологических целей это не менее важно, чем для топографического картирования, так как уменьшение угла наклона снимков существенно облегчает перенос данных дешифрирования на топографическую основу, упрощает измерительное дешифрирование и расширяет его возможности. Гиросtabilизация Н-55 рассчитана для работы с АФА ТЭ-70, ТЭ-100, ТЭ-140 и ТЭ-200. Заказывая аэросъемку этими АФА, следует всегда предусматривать применение гиросtabilизации.

Гиросtabilизацию относят к спецприборам. Кроме нее, спецприборами являются радиовысотомер РВД-А и статоскоп С-51. Радиовысотомер регистрирует высоту фотографирования каждого кадра с точностью порядка $1,5$ м. Наличие его показаний несколько упрощает измерительное дешифрирование и увеличивает его точность. Статоскоп фиксирует колебания высоты полета самолета над уровнем моря. Сведения о применении спецприборов приводятся в паспорте аэросъемки.

Светофильтры. В аэросъемке светофильтры применяются для ослабления влияния воздушной дымки, а не для коррекции тоновоспроизведения, как это происходит в кинематографии или любительской фотографии. Каждый аэросъемочный светофильтр пропускает длинноволновую часть проходящего через него света до некоторой, характеризующей этот светофильтр предельной длины волны $\lambda_{\text{пр}}$ и практически не пропускает свет, у которого $\lambda < \lambda_{\text{пр}}$. Применяется более 10 светофильтров, имеющих свои шифры, обозначающие цвет стекла (желтое стекло, оранжевое и красное) и номер, связанный с длиной волны $\lambda_{\text{пр}}$.

Практически все отечественные АФА имеют комплект из светофильтров ЖС-18, ОС-14 и КС-14, значения $\lambda_{\text{пр}}$, которых соответственно равны 510, 580 и 640 нанометров. Применение

светофильтров связано с увеличением выдержки и с уменьшением исходного контраста некоторых объектов. Вследствие этого их подбирают в зависимости от высоты полета и природных условий фотографирования, избегая неоправданного употребления избыточно плотных. Аэроосемку на наиболее употребительную изопанхроматическую аэропленку при высоте фотографирования $H \leq 1$ км можно вести вообще без светофильтра. При $H = 2 \div 4$ км используется светофильтр ЖС-18, а при больших высотах более плотные, т. е. ОС-14 и в отдельных случаях КС-14. Сказанное справедливо при высоте Солнца $30-40^\circ$. Если она значительно больше, то требуется менее плотные светофильтры, если меньше — более плотные.

Основные характеристики черно-белых аэропленок. Черно-белые аэропленки различаются по спектральной чувствительности, общей светочувствительности, разрешающей способности, коэффициенту контрастности и фотографической широте.

В зависимости от спектральной чувствительности различают изопанхроматические пленки, чувствительные ко всем лучам видимого спектра от 400 до 700 нм, изохроматические, чувствительные к синим, зеленым и желтым лучам до 620—630 нм, но нечувствительные к красным лучам, и инфрахроматические, чувствительные к инфракрасным лучам до 900 нм.

Преобладающее большинство аэроосемок производится на изопанхроматические пленки. Они выпускаются различных типов и имеют светочувствительность от 180 до 2000 ГОСТ (единиц государственного стандарта СССР), т. е. во много раз больше, чем у малоформатных фотопленок, используемых в любительской фотографии.

Наиболее универсальны изопанхроматические аэропленки средней чувствительности, например, Т-17 (тип 17), Т-33. Их чувствительность порядка 500 ГОСТ, разрешающая способность до 160 линий/мм, коэффициент контрастности 1,5—2,0 и фотографическая широта до 1,2—1,5.

При аэрофотографировании ярких малоконтрастных объектов светосильными АФА, например, при мелкомасштабной аэроосемке зоны песчаных пустынь в полуденные часы, целесообразно использовать низко чувствительную аэропленку, например Т-28. Ее светочувствительность всего 180 ГОСТ, но преимуществом является высокая разрешающая способность (порядка 250 линий/мм) и повышенный коэффициент контрастности.

При недостаточном освещении приходится применять аэропленки со светочувствительностью до 2000 ГОСТ, хотя они плохо передают малоконтрастные контура и мелкие детали местности.

Инфрахроматические аэропленки используются в СССР

довольно редко, вследствие низкой общей чувствительности и нестабильности. За границей они получили более широкое применение, т. к. позволяют существенно ослабить влияние воздушной дымки при фотографировании с высоты 4 км и более. На инфрахроматических пленках хорошо дешифрируется растительность и даже небольшие различия во влажности объектов.

Все характеристики аэропленок (кроме спектральной чувствительности) зависят от условий их проявления, т. е. от состава проявителя, его температуры, времени проявления и типа аппаратуры для проявления. Это позволяет в определенных пределах изменять их в нужном направлении, например исправлять недодержку или передержку, допущенную при аэросъемке. В паспорте каждой аэропленки указывают как ее характеристики, так и рекомендуемые для нее условия проявления, при которых эти характеристики достигаются.

Цветные и спектрально-зональные аэропленки. Цветные аэропленки — это трехслойные пленки, на подложку которых последовательно нанесены слои панхроматической эмульсии, чувствительной к красным лучам, ортохроматической — чувствительной к зеленым лучам, и несенсибилизированный слой, т. е. имеющий только сине-фиолетовую зону собственной чувствительности. Для исключения зоны собственной чувствительности орто- и панхроматической эмульсии между этими эмульсиями и внешним несенсибилизированным слоем наносится желтый разделительный слой. Цветные аэропленки позволяют получить изображение местности в цветах, близких к естественным, однако степень этой близости зависит от правильности экспозиции и от фотолабораторных работ, при которых корректируют цвет изображения. Вследствие этого при дешифрировании цветных аэроснимков используется не столько цвет того или иного объекта, сколько цветовые контрасты между объектами, которые для некоторых объектов значительно больше, чем общие контрасты.

Цветная негативная аэропленка ЦН-3 имеет светочувствительность всего 80—100 ГОСТ, разрешающую способность 50—60 линий/мм, коэффициент контрастности 0,8—1,0, фотографическую широту 0,9 и недостаточную стабильность, т. е. все ее характеристики значительно менее благоприятны для аэросъемки, чем у черно-белых аэропленок. Ее применение для геологических целей оправдано только при крупномасштабной аэросъемке тех южных районов страны, где имеются многочисленные выходы разноцветных коренных пород или же рыхлые отложения разных оттенков. В некоторых странах для цветной аэросъемки применяют цветную обратимую аэропленку, позволяющую получить лучшее качество изображения, чем цветная негативная.

Спектрально-зональная аэропленка СН-6 — двухслойная

пленка с панхроматическим и инфрахроматическим слоями. Инфраслой аналогичен эмульсии черно-белой пленки И-740. Изображение местности на этой пленке получается в условных цветах: длинноволновой части видимого спектра соответствует пурпурный цвет, а инфракрасной области — голубой. На цветном аэроснимке, отпечатанном с этой пленки, цветопередача зависит от типа фотобумаги и может быть самой различной. Спектрзональная аэропленка объединяет преимущества, имеющиеся у инфрахроматической и цветной пленок. Она позволяет уменьшить влияние воздушной дымки, четко выделяет урез воды, передает различие влажности, является оптимальной пленкой для дешифрирования растительности. С ее помощью можно уверенно выделять моховую растительность, мохово-торфяные болота, травянистые болота, еловый, сосновый и лиственный древостой, лиственный лес, древостой разного возраста и т. д. Для геологического дешифрирования аэропленку СН-6 целесообразно применять в случаях, когда различия во влажности и растительном покрове являются важными геоиндикационными признаками. В то же время цветовые различия в зоне сухих степей и пустынь, цветовые контрасты выходов коренных пород и осенняя раскраска смешанного леса лучше передаются на цветной аэропленке. Спектрзональную аэросъемку необходимо вести со светофильтром, устраняющим сине-фиолетовую зону собственной чувствительности обоих слоев.

Как правило, СН-6 применяют со светофильтром ОС-14, однако если светочувствительность ее инфраслоя уменьшена (например, к концу срока годности), требуется КС-14, а при фотографировании лиственного или соснового леса, яркость которого в инфракрасной области очень велика, свежую пленку СН-6 применяют со светофильтром ЖС-14. Правильность подобора светофильтра легко проверяется по виду спектрзонального аэрофильма: при слишком слабом светофильтре инфрахроматический слой недоэкспонирован или же панхроматический переэкспонирован и фильм имеет чисто пурпурный цвет. Аналогично при слишком плотном светофильтре работает только инфрахроматический слой и изображение получается чисто голубым. Нормальный спектрзональный фильм содержит как голубые, так и пурпурные участки изображения. Спектрзональная аэросъемка с неправильно подобранным светофильтром не только не имеет никаких преимуществ перед черно-белой аэросъемкой, но и вообще малопригодна для дешифрирования.

Виды материалов аэросъемки

Чаще всего для геологического дешифрирования используют аэроснимки, т. е. контактную печать с аэрофильма, выполненную на фотобумаге. Однако во многих случаях целесообразно

применять и другие материалы аэро съемки (аэрофото материалы).

Камеральное дешифрирование цветных и спектрзональных аэрофильмов целесообразно вести непосредственно по аэро негативам, так как из-за особенности цветной фотобумаги аэро снимки недостаточно передают различия, имеющиеся на таких фильмах. Использование аэро негативов требует некоторого навыка. Для инструментального дешифрирования иногда целесообразно применять и черно-белые аэро негативы: они не теряют резкости изображения даже при шести-восьмикратном оптическом увеличении, а аэро снимки выдерживают только трех-четыре кратное увеличение.

Увеличенные аэро снимки (или проекционная печать) облегчают и значительно дополняют дешифрирование при наличии только мелкомасштабной аэро съемки. На них выявляются более мелкие детали, легче и полнее наносятся данные дешифрирования. Их используют в первую очередь при полевом дешифрировании и при отсутствии стереоскопов или стерео приборов со значительным оптическим увеличением.

Для увеличения обзорности и получения единого фотозображения на весь планшет служат фотосхемы (контактные фотосхемы), которые монтируют из комплекта контактной печати, отрезая края смежных отпечатков по идентичным линиям и наклеивая вырезанные центральные части на картон или иную жесткую основу. От фотосхем следует отличать уточненные фотосхемы (не ориентированные фотопланы). Уточненные фотосхемы обычно изготавливают в масштабе топокарты. Их составляют из трансформированных аэро снимков, на которых исправлены искажения, возникающие за счет углов наклона снимков и колебания высоты полета. При наличии значительных превышений искажения, вызванные рельефом местности, компенсируют, трансформируя каждый снимок 2 раза (или несколько раз) так, чтобы на одном из полученных отпечатков в нужном масштабе изобразились более высокие, а на другом — более низкие участки местности, и включают в фотосхему только эти участки (так называемое трансформирование по зонам). По точности уточненные фотосхемы могут служить топоосновой для геологической карты масштаба 1 : 25 000 и мельче.

Трансформирование аэро снимков и изготовление уточненных фотосхем — трудоемкие процессы, требующие соответствующего оборудования и специалистов, вследствие чего уточненные фотосхемы в десятки раз дороже фотосхем. Иногда параллельно с уточненными фотосхемами изготавливают комплект трансформированных аэро снимков для дешифрирования. В равнинных районах каждый трансформированный аэро снимок идентичен топокарте соответствующего участка местности. Трансформированные аэро снимки позволяют вести измерительное дешиф-

рирование и перенос контуров с большей точностью и более простыми средствами, чем нетрансформированные. При отсутствии мелкомасштабных аэроснимков иногда используют уменьшенные фотокопии с фотосхем и уточненных фотосхем.

Если аэро съемка сделана с гиросtabilизацией и с регистрацией показаний радиовысотомера, а превышения заснятой местности в пределах каждого кадра невелики, то уточненную фотосхему можно заменить приведенной фотосхемой значительно более простой в производстве и дешевой. Приведенная фотосхема составляется из проекционной печати, каждый кадр которой приведен к одному и тому же масштабу, обычно или к среднему масштабу аэро съемки, или к масштабу топокарты. Масштаб каждого кадра аэрофильма, используемый для приведения, определяется в этом случае по показаниям радиовысотомера. Ошибки приведенных фотосхем, составленных из небольшого числа кадров, практически не превышают ошибок уточненных фотосхем, но с увеличением числа кадров они возрастают из-за нарастающей погрешности монтажа.

В топографическом картировании вместо уточненных фотосхем используют фотопланы, отличающиеся тем, что опознаки для них берутся не с карты, а путем геодезического определения координат ряда точек местности, опознанных на аэроснимках. Точность фотопланов выше, чем уточненных фотосхем.

В горных районах, когда превышения местности больше 500—700 м, изготовление уточненных фотосхем и фотопланов нецелесообразно, так как они имеют низкое качество фотопереизображения, а иногда и пониженную точность положения контуров.

Орто фотопланы — фотопланы, сохраняющие точность и качество изображения практически при любом рельефе. Их изготовление требует специального сложного оборудования и начато только в последние годы. Фотопланы и ортофотопланы, на которые нанесено изображение рельефа в горизонталях, называют фототопопланами или фотокартами. Их используют параллельно с топокартами, так как на фотопереизображение наносится лишь разреженная топографическая нагрузка.

Для подбора снимков на планшет или его часть, для составления проекта работ, суждения о направлении и перекрытии маршрутов аэро съемки и т. д. служит репродукция накладного монтажа. Она получается фотографированием всех аэроснимков данной трапеции, наложенных друг на друга по идентичным контурам. Фотографирование ведется примерно с трехкратным уменьшением. Ее фотокачество обычно низкое, а геометрические искажения значительно больше, чем на фотосхемах. Вследствие этого репродукция накладного монтажа не может заменить уменьшенных фотосхем и тем более других материалов аэро съемки.

Глава II

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЭРОСНИМКОВ

Влияние рельефа местности и способы его учета

Выше было показано, что в идеальном случае аэросъемки, когда оптическая ось АФА в момент фотографирования направлена строго вертикально, а фотоленка расположена в горизонтальной плоскости, аэроснимок плоской горизонтальной местности является фотопланом этой местности. Рассмотрим теперь геометрические особенности такого же (горизонтального) аэроснимка местности, имеющей произвольный рельеф.

Разномасштабность аэроснимка, вызванная рельефом местности. При наличии превышений высота горизонтального полета самолета (т. е. высота фотографирования) над разными точками местности различна. Следовательно, различен и масштаб их изображения на аэроснимке. Эти различия при аэросъемке горных районов могут достигать 30% среднего масштаба. В паспорте аэросъемки масштаб приводят с указанием уровня местности, к которому он относится. Этот (обычно средний по участку залета) уровень называют начальным.

На рис. 3 изображено сечение аэроснимка oa и местности вертикальной плоскостью, проходящей через центр объектива АФА S и точку местности A , имеющую превышение h над начальным уровнем OA' . Фокусное расстояние АФА f , высота полета над начальным уровнем H . Из рис. 1 и формулы (1) легко найти зависимость между масштабом M_h изображения уровня точки A и масштабом M изображения начального уровня:

$$M_h = \frac{10^{-3}f}{H-h} = \frac{10^{-3}f}{H} \cdot \frac{H}{H-h} = M \frac{H}{H-h}. \quad (3)$$

Напомним, что величина f выражена в миллиметрах, а значения h и H — в метрах. Это и привело к появлению коэффициента 10^{-3} .

Для практического пересчета масштабов, относящихся к разным уровням местности, эту зависимость удобнее представить в

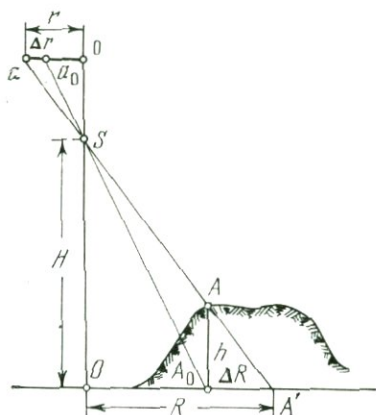


Рис. 3. Смещение точек аэроснимка, вызванное рельефом местности

виде

$$m_h = m - \frac{10^3 h}{f}, \quad (4)$$

где m_h и m — соответственно знаменатели масштабов M_h и M .

Смещения точек аэроснимка, вызванные рельефом местности.

Разномасштабность, вызванная рельефом, приводит к смещению точек аэроснимка относительно их планового положения, соответствующего начальному уровню. На рис. 3: a — точка аэроснимка, идентичная точке A местности; r — ее радиус-вектор, т. е. отрезок, соединяющий ее с центром снимка; a_0 — плановое изображение, соответствующее положению точки A_0 на начальном уровне; $\Delta r = a_0 a$ — смещение, вызванное рельефом, R и ΔR — отрезки на начальном уровне местности, идентичные отрезкам r и Δr снимка. Из рисунка следует:

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta R}{R} = \frac{h}{H},$$

откуда

$$\Delta r = r \frac{h}{H} = 10^3 M \frac{r}{f} h. \quad (5)$$

Эта формула определяет величину смещения, вызванного рельефом.

Согласно формуле (5) смещения, вызванные рельефом, возрастают к краю снимка и с уменьшением высоты полета. Для однотипных АФА, т. е. при фиксированном f , они прямо пропорциональны масштабу аэросъемки, а при фиксированном масштабе тем больше, чем меньше f . Вследствие этого понятия «горный» и «равнинный» участок при оценке искажений аэроснимка относительноны. Так, например, при аэросъемке АФА с $f=70$ мм в масштабе 1 : 5000, участок, имеющий превышения до 75 м — «горный», т. к. смещения на краю аэроснимка достигают 20 мм. В то же время при аэросъемке АФА с $f=200$ мм в масштабе 1 : 35 000 участок с превышениями порядка 500 м получается «равнинный». Смещения в этом случае не превышают 4 мм.

Формула (5) позволяет ввести поправку за рельеф, равную смещению Δr и направленную к центру аэроснимка для точек, лежащих выше начального уровня, и от центра — для точек, расположенных ниже его, и, тем самым, найти плановое положение точки. Подставляя в формулу (5) значения масштаба или высоты фотографирования, подсчитанные для определенного уровня местности и превышения точек над этим уровнем, можно вычислить поправки за рельеф относительно выбранной поверхности. Аналогично вычисляется и поправка за рельеф для одного из концов наклонного отрезка относительно высотной отметки второго конца. Значения h , необходимые для использо-

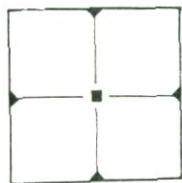


Рис. 4. Координатные метки и центр аэроснимка

вания формулы (5) в качестве формулы поправок, или определяют путем стереофотограмметрических измерений, или ориентировочно оценивают по топографической карте.

Положение центра (главной точки) аэроснимка требуется знать практически для всех операций инструментального и измерительного дешифрирования. Вследствие этого в каждом АФА имеются координатные метки — четыре небольших выступа в фокальной плоскости кассеты, изображающиеся на каждом кадре. Центр аэроснимка определяется пересечением прямых, проведенных через изображение координатных меток (рис. 4).

Влияние рельефа при переносе данных дешифрирования на топографическую карту. Смещения точек аэроснимка, вызванные рельефом, препятствуют переносу данных дешифрирования на топокарту путем пантографирования, т. е. простого изменения масштаба. Рассмотрим это влияние и определим, при каких условиях такой перенос еще допустим, а когда требуется применять приборы или способы, компенсирующие влияние рельефа. Пусть M_k — масштаб топокарты, h — превышение точки местности над начальным уровнем, r — длина радиуса-вектора этой точки на снимке, т. е. расстояние от центра снимка до ее изображения. Тогда смещение Δr изображения рассматриваемой точки на снимке масштаба M приведет к некоторому смещению Δ на карте, причем

$$\frac{\Delta}{\Delta r} = \frac{M_k}{M}$$

или

$$\Delta = \Delta r \frac{M_k}{M} = 10^3 M_k \frac{r}{f} h. \quad (6)$$

Таким образом, ошибки переноса пропорциональны превышениям местности и расстоянию от центра аэроснимка и обратно пропорциональны фокусному расстоянию АФА. Они зависят от масштаба карты, но не от масштаба аэросъемки.

Обычно перенос контуров производится только в пределах полезной площади аэроснимка, где r не превосходит некоторого r_{\max} (при формате снимка 18×18 см $r_{\max} \approx 70$ мм). Предельная допустимая ошибка Δ регламентируется инструкциями. Так, например, при геологическом картировании масштаба 1:50 000, для геологического контакта $\Delta = 2$ мм. С учетом этого, пользуясь формулой (6), выражают наибольшее превышение участка h_{\max} , при котором данные дешифрирования можно переносить на топокарту масштаба $M_k = 1 : m_k$ без учета рельефа местности:

$$h_{\max} \approx 10^{-3} m_k \frac{f}{r_{\max}} \Delta. \quad (7)$$

Равенство (7) приближенное, потому что h_{\max} может несколько меняться в зависимости от методики пантографирования. Значения h_{\max} , получаемые из формулы (5) при $r_{\max}=70$ мм и $\Delta=1$ мм, приведены в табл. 2.

Искажения длины и направления изображения наклонного отрезка местности. При дешифрировании одиночного аэроснимка, т. е. прежде всего при полевом дешифрировании в маршруте, разномасштабность изображения горизонтальных объектов, находящихся в разных горизонтальных плоскостях, обычно не препятствует правильной интерпретации. Гораздо большее значение имеют искажения формы и относительных размеров изображения наклонных объектов, а также возникновение «мертвых зон», т. е. участков местности, отсутствующих на аэроснимке вследствие того, что их заслоняют другие участки, расположенные выше.

Таблица 2

Наибольшие превышения местности (в метрах), при которых ошибка переноса контуров не более 1 мм, в зависимости от масштаба карты (M_k) и фокусного расстояния АФА (f).

f , мм	M_k				
	1:10 000	1:25 000	1:50 000	1:100 000	1:200 000
50	8	18	35	70	150
70	10	25	50	100	200
100	15	35	70	150	300
140	20	50	100	200	400
200	30	70	150	300	600
350	50	125	250	500	1000

Искажение направления наклонного отрезка, т. е. угол ΔA между его истинным азимутом и азимутом его изображения на аэроснимке, определяется формулой

$$\sin \Delta A = \frac{r'}{f} \operatorname{tg} \alpha, \quad (8)$$

где α — угол наклона отрезка на местности;

r' — расстояние от центра снимка до прямой снимка, на которой расположен отрезок (т. е. длина перпендикуляра, опущенного из центра снимка на отрезок или на его продолжение).

При $\alpha \leq 30^\circ$, т. е. для преобладающего большинства склонов, формулу (8) можно приближенно заменить более простой:

$$\Delta A \approx \frac{r'}{f} \alpha. \quad (9)$$

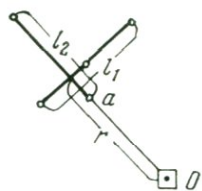


Рис. 5. Схема, поясняющая искажения длины и направления изображения наклонного отрезка местности

Из формулы (9) следует, что искажение направления пропорционально углу наклона отрезка на местности и тем сильнее, чем меньше фокусное расстояние АФА. Среди отрезков, проходящих через фиксированную точку аэроснимка (например, через точку a на рис. 5), сильнее всего искажено направление отрезка, проходящего перпендикулярно к радиусу-вектору этой точки (отрезок l_1). В этом случае

$$\Delta A = \frac{r}{f} \alpha.$$

Направление отрезка, проходящего вдоль радиуса-вектора, например отрезка l_2 на рис. 5, не искажено совсем. Для него $\Delta A = 0$.

Формулы относительного искажения длины наклонных отрезков аналогичны формулам искажения направлений, однако длина сильнее всего искажена у отрезков, направленных вдоль радиусов-векторов аэроснимка, т. е. у отрезка l_2 на рис. 5. Для таких отрезков

$$\frac{\Delta l}{l_0} \approx 0,017 \frac{r}{f} \alpha, \quad (10)$$

где l_0 — горизонтальное проложение отрезка в масштабе аэросъемки;

Δl — разность между l_0 и длиной изображения отрезка; угол α выражен в градусах;

0,017 — радианная мера угла в 1° .

Длина отрезка l_1 (рис. 5) практически не искажена.

На краях аэроснимков, снятых широкоугольными АФА, искажения очень велики. Так, например, при $r=f=70$ мм, изображение отрезка, наклоненного на местности на 30° , развернуто на аэроснимке на угол ΔA , достигающий 35° . Если такой отрезок наклонен к центру снимка, то длина его возрастает на 60%, если от центра, то он изображается укороченным более чем вдвое.

Вследствие искажений, вызванных рельефом, прямолинейные разломы могут изобразиться кривыми или ломаными линиями, обрывы постоянной высоты будут иметь в разных частях аэроснимков (или в идентичных точках смежных снимков) различную ширину и т. д.

Фотографическое увеличение не может изменить ни углов, ни отношения длин отрезков. Поэтому значения ΔA и $\frac{\Delta l}{l_0}$ на увеличенных аэроснимках те же, что и на контактной печати. Если в формулах (5) — (10) берутся значения r , снятые с увеличенных аэроснимков, то и величину f нужно брать умноженной на коэффициент увеличения.

Способы устранения и учета влияния рельефа. При стереоскопическом дешифрировании направления контуров стереомодели воспринимаются без существенных искажений и длины наклонных отрезков — не зависящими от направления наклона и места расположения отрезков в пределах стереомодели.

На одиночном аэроснимке угловые искажения можно учесть, введя в изображение одного из концов отрезка поправку за рельеф относительно уровня другого конца по формуле (5). Однако обычно это проще сделать путем разворота отрезка на угол ΔA , приближенно определенный по формуле (9). Направление поворота выбирают такое, при котором конец отрезка, лежащий на местности выше, приближается к центру аэроснимка. Угол наклона отрезка на местности определяют или на глаз, или по топокарте.

Учет угловых искажений особенно существен при дешифрировании разрывных нарушений, так как из-за них прямолинейные разрывы изображаются изогнутыми контурами.

Кроме рассмотренного выше способа введения поправок за рельеф существует принципиально другой способ — способ прямой засечки, не требующий определения превышения по топокарте, но использующий не одиночный аэроснимок, а стереопару. Для его осуществления на каждом аэроснимке стереопары отмечают центр, точку, идентичную центру второго снимка, и проводят начальное направление, т. е. соединяющую их прямую. На левый снимок накладывают кальку и наносят на нее начальное направление, оба центра и радиус-вектор точки, в положение которой нужно ввести поправку за рельеф. Затем кальку накладывают на правый аэроснимок, совмещая положение правого центра и начальное направление, и наносят радиус-вектор этой же точки. Пересечение левого и правого радиус-векторов (или их продолжений) определяет положение точки, свободное от влияния рельефа. Если исправить таким образом каждую точку аэроснимка, получится план в масштабе, соответствующем уровню центра правого аэроснимка. Если перед засечкой точек с правого аэроснимка сместить кальку вдоль начального направления, можно получить план и в любом другом масштабе.

Изложенный графический способ нельзя, конечно, непосредственно использовать для составления планов. На его принципе созданы стереоприборы, автоматически и непрерывно осуществляющие прямую засечку точек контура аэроснимка при его обводке маркой прибора. (Отечественный прибор этого типа РП-2 будет рассмотрен ниже.) Графическую прямую засечку можно использовать в отдельных случаях, когда необходим точный перенос на топокарту небольшого числа точек аэроснимка.

Имеется и третий способ устранения влияния рельефа — перенос контуров на универсальных стереоприборах. При больших превышениях он наиболее точен и прост.

Влияние отклонений от идеального случая аэросъемки

Как уже говорилось, практически плановые аэроснимки имеют небольшие случайные наклоны, высота полета несколько меняется от снимка к снимку, и аэросъемочные маршруты не являются строго прямолинейными и параллельными. Рассмотрим геометрические особенности аэроснимков, вызванные этими факторами.

Влияние наклона аэроснимка. Наклон аэроснимка вызывает как линейные, так и угловые искажения, однако последние даже при съемке сверхширокоугольным АФА, например при $f = 70$ мм, достигают только 2° , да и то на краю аэроснимка, и не требуют учета при дешифрировании. Направления прямых, проходящих вблизи центра аэроснимка (на расстоянии r до 10 мм), вообще не искажаются.

Линейное искажение, т. е. смещение точек аэроснимка, вызванное его наклоном, как и смещение, вызванное рельефом, направлено вдоль радиуса-вектора, от центра аэроснимка или к центру. Его максимальная величина приведена в табл. 3 как для гиросtabilизированных аэроснимков, так и для снимков без гиросtabilизации. Таблица 3 рассчитана для угла наклона α_{\max} , соответственно равного $40'$ и 2° . Из нее видно, что смещения, вызванные наклоном аэроснимка, меньше, чем вызванные

Таблица 3

Максимальное смещение точек аэроснимка, вызванное его наклоном

$r, \text{ мм}$	Аэросъемка									
	с гиросустановкой					без гиросустановки				
	15	30	45	60	75	15	30	45	60	75
50	0,1									
70	0	0,2	0,3	0,6	0,9	0,1	0,4	1,0	1,8	2,8
100	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,1	0,3	0,4	1,2	2,0
140	0	0,1	0,2	0,3	0,5	0	0,2	0,5	0,9	1,4
200	0	0	0,1	0,2	0,3	0	0,2	0,4	0,6	1,0
350	0									

рельефом. Они практически не влияют на геологическую интерпретацию и могут не учитываться в процессе дешифрирования. Однако эти смещения на аэроснимке не зависят от масштаба аэросъемки и вследствие этого соответствуют тем большим отрезкам местности, чем он мельче. Поэтому при переносе контуров на топокарту они вызывают ошибки, обратно пропорциональные масштабу аэросъемки.

Искажения, вызванные углом наклона аэроснимка, исправляют с помощью фототрансформатора, т. е. полуавто-

матического фотоувеличителя, компенсирующего влияние наклона снимка соответствующим наклоном экрана. Экран устанавливают так, чтобы четыре контурных точки лежащей на нем топокарты совпали с проекциями идентичных точек снимка.

Совместное влияние рельефа местности и наклона аэроснимка при больших превышениях устранить много сложнее, чем действие каждого из этих факторов при отсутствии другого. Особенность совместного влияния в том, что смещения, вызванные рельефом, направлены не к центру снимка (или от него), а к точке надира, совпадающей с центром, если угол наклона снимка $\varepsilon=0$ и отстоящей от центра на расстояние $f \operatorname{tg} \varepsilon$ при наличии наклона. Применяя приборы, основанные на способе прямой засечки, при больших углах наклона и горном рельефе приходится определять положение точек надира и использовать их вместо центров снимков. Полное и строгое исправление всех фотограмметрических искажений осуществимо на так называемых универсальных стереоприборах.

Особенности, зависящие от траектории аэросъемочного полета. Высота фотографирования даже при аэросъемке равнинной местности на протяжении одного маршрута несколько меняется. В большей степени она меняется при переходе от одного маршрута к другому. Основные технические требования допускают отклонения уровня полета самолета от заданного значения в пределах $\pm 3\%$ в равнинных районах и $\pm 5\%$ в горных.

Изменение высоты фотографирования от одного аэроснимка к другому не вызывает относительных смещений точек в пределах каждого из них, но ведет к разномасштабности снимков. Относительное отклонение масштаба отдельных аэроснимков от среднего масштаба аэрофильма равно относительному отклонению высоты фотографирования от ее среднего значения. Разномасштабность кадров одного аэрофильма увеличивает ошибку переноса контуров на топооснову, если он осуществляется непосредственно по среднему отношению масштабов аэросъемки и карты. Его влиянием можно пренебрегать, только когда масштаб аэросъемки в 2 раза или более крупнее масштаба картирования. В противном случае нужно определять средний масштаб каждого из маршрутов залета. Если масштаб аэросъемки мельче масштаба картирования, нужно учитывать разномасштабность не только между маршрутами, но и между смежными кадрами одного маршрута. Оценить ее и определить истинный масштаб проще всего по показаниям радиовысотомера РВТД. Приведение к единому масштабу осуществляется при фототрансформировании.

Поперечное перекрытие аэроснимков, т. е. перекрытие между маршрутами аэросъемки, обычно задают равным 30—35%. Это значит, что при формате кадра 18X

×18 см, наиболее распространенном в СССР, верхний и нижний края каждого кадра шириной около 6 см перекрыты аэроснимками соответственно верхнего и нижнего маршрута. Согласно приведенным выше данным, фотограмметрические искажения быстро возрастают к краю аэроснимка. Поэтому дешифрирование нужно вести только в его рабочей зоне, ограниченной сверху и снизу линиями, проходящими по середине зон поперечного перекрытия, т. е. на расстоянии около 3 см от краев аэроснимка. Минимально допустимое поперечное перекрытие, определяемое по изображению наиболее высоких точек местности (на которых вследствие смещений, вызванных рельефом, перекрытие меньше), равно 20%. В этом случае граница рабочей зоны проходит в 18 мм от края аэроснимка. Для некоторых топографических целей аэро съемку ведут с 60%-ным поперечным перекрытием, которое обеспечивает 20%-ное перекрытие маршрутов, взятых через один. В этом случае, если рельеф местности, параметры аэро съемки и планируемый способ переноса отдешифрированных контуров на топооснову позволяют получить нужную точность скончатальной карты, снимки дешифрируют через маршрут, увеличивая этим рабочую зону каждого из них и вдвое сокращая их число, т. е. уменьшают объем работы на всех этапах геологического дешифрирования. Если же предрасчетные ошибки на краях аэроснимков близки к предельным или превосходят их, то вместо применения более сложного способа переноса контуров можно использовать снимки каждого маршрута. Последнее целесообразно и в случае заметного ухудшения фотографического качества к краям рабочей зоны.

Иногда аэро съемку ведут одновременно двумя АФА с разным значением f , задавая расстояние между маршрутами так, чтобы получить нормальное поперечное перекрытие основного аэрофильма. Если при этом фокусное расстояние дополнительного АФА больше, чем у основного, то его масштаб крупнее, а поперечные перекрытия меньше, чем у основного. В частности, маршруты дополнительной аэро съемки могут не перекрываться совсем. Такая аэро съемка не позволяет проводить сплошного дешифрирования участка, но может существенно помочь выявлению дешифрировочных признаков.

Вследствие непараллельности маршрутов аэро съемки поперечное перекрытие может несколько меняться вдоль маршрута. Такие изменения связаны в основном с непрямолинейностью полета. Непрямолинейность более 3% не допускается. Иначе говоря, если линия полета образует дугу, то ее стрела прогиба не может превышать 3% от длины маршрута.

Продольное перекрытие аэроснимков обычно задают равным 62% (для наиболее высоких точек местности). Это означает, что в равнинных районах базис аэро съемки в масштабе снимка b (т. е. расстояние на аэроснимке между его

центром и точкой, идентичной центру смежного снимка) имеет длину

$$b \approx \frac{100 - 62}{100} \cdot 180 \text{ мм} \approx 68 \text{ мм.}$$

Перекрытие менее 56% недопустимо. В горных районах маршрут аэросъемки может проходить над долиной между хребтами. В этом случае, чтобы обеспечить 62%-ное продольное перекрытие точек в верхней и нижней частях кадра, базис приходится значительно уменьшить, иногда до 40 мм. От этого случая следует отличать уменьшение базиса при некоторых специальных топографических аэросъемках с заданным продольным перекрытием в 80% или даже в 90%. При увеличении перекрытия до 80% стереопары для дешифрирования можно составлять через один аэроснимок, а контуры наносить только на каждом четвертом снимке маршрута. При уменьшении базиса на аэроснимках горного района планировать такое уменьшение числа дешифрируемых снимков обычно нельзя, так как это приводит к разрывам (пропуску части участка) вдоль верхнего или нижнего края маршрута.

Продольное перекрытие несколько меняется в пределах аэрофильма из-за колебаний интервала между экспозициями, вызванного случайными ошибками работы командного прибора АФА, а также из-за изменения абсолютной скорости самолета, связанного с неточным определением направления и силы ветра и с ее колебаниями.

Расчетные и фактические перекрытия аэрофильма указаны в паспорте аэросъемки и видны на репродукции накидного монтажа, т. е. на уменьшенной фотокопии всех аэроснимков фильма, смонтированных по идентичным точкам в единые изображения участка аэросъемки, и служащей для оценки перекрытий прямолинейности маршрутов, их параллельности и «елочки»*, а также для подбора аэроснимков нужного маршрута или части участка по их номерам.

Измерения по одиночному аэроснимку

Измерение длины отрезка. Длину L горизонтального или слабо наклоненного отрезка местности (в метрах) определяют, измеряя на аэроснимке длину его изображения l (в миллимет-

* «Елочкой» называют непараллельность верхнего и нижнего края аэроснимка направлению маршрута аэросъемки или, иначе говоря, угол между начальным направлением аэроснимка и прямой, соединяющей его левую и правую координатные метки. Этот угол примерно постоянен для всего аэрофильма, но на смежных маршрутах направлен в разные стороны, вследствие чего и получил название «елочки». Предельное допустимое значение этого угла 5°. «Елочку» нужно учитывать при разметке рабочей зоны аэроснимков.

рах) и умножая ее на знаменатель масштаба аэро съемки:

$$L = 10^{-3} ml. \quad (11)$$

Когда $l \geq 15 \div 20$ мм, то прямолинейные отрезки измеряют циркулем-измерителем и масштабной линейкой, а криволинейные — курвиметром. Для измерения более коротких отрезков пользуются измерительной лупой. Если определение L требуется с точностью выше 5%, следует брать знаменатель масштаба с соответствующей точностью, т. е. определять его не из паспорта аэро съемки, а фотограмметрическим путем (см. ниже). При наличии значительных относительных превышений местности, т. е. отношений $h : H$ (превышений к высоте фотографирования), знаменатель масштаба нужно приводить к уровню, на котором находится отрезок местности, по формуле (4). Длины отрезков следует измерять на том кадре аэрофильма, где их изображение находится ближе всего к центру кадра.

Точность измерений длины (в масштабе аэро съемки) зависит от наклона отрезка на местности, длины отрезка, его расположения относительно центра снимка, фокусного расстояния АФА, точности определения знаменателя масштаба, тщательности измерения, влияния наклона аэроснимка и деформации фотобумаги.

Для горизонтальных отрезков, длина изображения которых меньше 5 мм (ширина небольшой реки, видимая мощность пласта), достижима точность порядка 0,1 мм в масштабе снимка. Более длинные горизонтальные отрезки при тщательной работе измеряются с относительной ошибкой в 2%, а при аэро съемке широкоугольным АФА без гиростабилизации в 3÷6%.

Ошибки измерения наклонных отрезков значительно больше, чем горизонтальных, так как смещение, вызванное рельефом, может существенно исказить их длину (см. формулу 10).

Примеры.

1. Определить ширину реки и оценить точность этого определения по аэроснимку равнинной местности, имеющему масштаб 1 : 10 000, если замеры измерительной лупой дали средний результат $l = 0,8$ мм с точностью 0,1 мм. В данном случае уточнить масштаб бессмысленно, так как относительная погрешность измерений

$$\frac{\Delta l}{l} \geq \frac{0,1 \text{ мм}}{0,8 \text{ мм}} \approx 12 \%$$

Следовательно, по формуле (11)

$$L = 10^{-3} \cdot 10^4 \cdot 0,8 \pm 10^{-3} \cdot 10^4 \cdot 0,1 = 8 \pm 1 \text{ м.}$$

2. Определить длину трассы, ведущей в карьер, если длина ее изображения на аэроснимке масштаба 1 : 50 000, измеренная курвиметром, равна 86 мм. Оценить точность измерения. По формуле (11) длина дороги в натуре

$$L = 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^4 = 4300 \text{ м.}$$

Средний наклон дороги такого типа 5°. Если она изобразилась на краю кадра, $r = 70 \div 80$ мм, а аэро съемка выполнена АФА с $f = 50$ мм, то $r \approx \frac{3}{2} f$ и

согласно формуле (10) относительная ошибка измерений может быть порядка 13%, а абсолютная ошибка

$$\Delta L \approx 4300 \text{ м} \cdot 0,13 = 600 \text{ м}.$$

Остальные ошибки в данном случае сказываются слабее и ими можно пренебречь.

Измерение высоты вертикальных отрезков. Высота h вертикального отрезка, т. е. высота вертикального обрыва, дерева, останца и т. д., вычисляется по длине его изображения на аэроснимке с помощью формулы

$$h = 10^{-3} m_1 \frac{f}{r_2} l, \quad (12)$$

где m_1 — знаменатель масштаба аэроснимка, соответствующий уровню одного из концов вертикального отрезка;

r_2 — расстояние от изображения другого конца этого отрезка до центра аэроснимка;

l — длина отрезка, измеренная по снимку.

Если расстояние $r_{\text{ср}}$ середины изображения отрезка от центра аэроснимка в 10 или более раз превышает его длину, то в формуле (12) можно заменить r_2 на $r_{\text{ср}}$ и m_1 на знаменатель среднего масштаба аэросъемки. В этом случае

$$h = 10^{-3} m \frac{f}{r_{\text{ср}}} l. \quad (13)$$

Высоту вертикального отрезка следует измерять на том кадре аэрофильма, где его изображение дальше всего от центра.

Определение высоты крутых, но не вертикальных отрезков местности изложенным способом обычно нецелесообразно, так как его точность падает пропорционально углу отклонения таких отрезков от вертикали, причем если угол отклонения равен 6° , то относительная ошибка доходит до $0,1 \frac{f}{r_{\text{ср}}}$.

Примеры.

1. На аэроснимке масштаба 1 : 10 000, снятого АФА с $f=100$ мм, в 65 мм от центра кадра имеется изображение вертикального берегового обрыва. Длина изображения, измеренная измерительной лупой в направлении радиуса-вектора (т. е. к центру снимка), равна 1,3 мм. Требуется определить высоту обрыва и оценить точность.

Подставив заданные значения в формулу (13), получим

$$h = 10^{-3} \cdot 10^4 \cdot \frac{100}{65} \cdot 1,3 \pm 10^{-3} \cdot 10^4 \cdot \frac{100}{65} \cdot 0,1 = 21 \text{ м} \pm 1,6 \text{ м}.$$

Если обрыв не вертикален, а имеет угол наклона 78° то дополнительная относительная ошибка определения его высоты составит $0,2 \frac{f}{r_{\text{ср}}}$, т. е. 30%.

Соответствующая абсолютная ошибка равна $21 \text{ м} \cdot 0,30 = 6 \text{ м}$.

2. На аэроснимке масштаба 1 : 5000, снятом АФА с $f=350$ мм, в 30 мм от центра кадра изобразился останец. Требуется грубо оценить его высоту,

хотя бы с точностью до 50%. В данном случае $\frac{f}{r_{\text{ср}}} = 11,7$ и наклон объекта

хотя бы на 3° к вертикали приведет к относительной ошибке в 60%. Следовательно, нужно отказаться от решения этой задачи по одиночному аэроснимку, даже не измеряя длины изображения.

Таким образом, измерение высоты объектов на одиночном аэроснимке, снятом узкоугольным АФА, практически невозможно даже при очень крупном масштабе аэросъемки.

Измерение площади участка. Площадь S горизонтального или слабо наклоненного участка местности вычисляют по площади s изображения участка на аэроснимке по формуле

$$S = 10^{-3}ms, \quad (14)$$

аналогичной формуле (11). Как и при измерении длины, предпочтительно использовать материалы аэросъемки, полученные узкоугольным или нормальноугольным АФА, и вести измерения по кадру, на котором участок изобразился вблизи центра. Знаменатель масштаба m или берется из паспорта залета, или вычисляется более точно, аналогично тому, как это разобрано относительно формулы (11). Величина s измеряется планиметром, а в полевых условиях при отсутствии планиметра — по сетке квадратов. Сетку строят на прозрачном пластике. Целесообразно иметь сетки различной густоты.

Влияние наклона участка местности на точность измерения его площади по аэроснимку оценить сложнее, чем при измерении длины. Наклон аэроснимка искажает площадь участка примерно вдвое сильнее, чем длину контура. При аэросъемке АФА ТЭ-100 без гиостабилизации максимальная относительная ошибка растет от центра к краю снимка, составляя от 2 до 10% измеряемой площади. При $f=200$ мм она вдвое уменьшается, а при $f=50$ мм примерно вдвое увеличивается. При аэросъемке с гиостабилизацией влияние наклона снимков уменьшается втрое.

Угловые измерения. Углы измеряются транспортиром. Точность измерений ограничена рассмотренными выше искажениями, вызываемыми наклоном участка местности и наклоном аэроснимка.

Важные частные случаи угловых измерений — определение азимута маршрута аэросъемки и проведение направления север — юг на аэроснимке.

Азимут маршрута аэросъемки определяют по репродукции накидного монтажа как угол между прочерченной на ней рамкой заснятой трапеции и прямой, проведенной через координатные метки снимков этого маршрута.

Для точного проведения направления север — юг на отдельном аэроснимке на него наносят с топокарты две удаленные друг от друга контурные точки (опознаки), выбранные на пря-

мой, проходящей не далее чем в 1—2 см от центра снимка. Если точки местности, идентичные опознакам, лежат на разной высоте, то в положение одного из опознаков вводят поправку за рельеф относительно уровня другого опознака и исходят из отрезка, соединяющего полученную точку со вторым опознаком. Азимут горизонтального (или исправленного за влияние рельефа) отрезка равен азимуту идентичного отрезка на карте, вследствие чего направление север—юг на аэроснимке получают, измерив этот азимут по карте и отложив равный ему угол от отрезка на аэроснимке.

Если на аэроснимке и топокарте можно отождествить 3—4 опознака, все радиусы-векторы которых длиннее 50 мм и образуют между собой углы не менее 60°, направление север—юг определяют способом обратной засечки. С этой целью накладывают на аэроснимок кальку и прочерчивают на ней радиусы-векторы опознаков, т. е. опознаки соединяют с центром. Затем кальку накладывают на топокарту таким образом, чтобы каждый опознак топокарты совпал с радиусом-вектором аналогичного ему опознака кальки. В этом положении наносят с карты на кальку направление меридиана и, вновь накладывая кальку на аэроснимок, отмечают его. Для этого способа не нужно знать превышений между опознаками.

Фотограмметрическое определение масштаба аэроснимков. Вследствие колебаний высоты полета и погрешностей ее измерения, паспортный (средний) масштаб аэросъемки отличается от истинного масштаба изображения начального уровня местности на отдельных аэроснимках. При высоте фотографирования $H \leq 500$ м, а также в случае специальной, нетопографической, аэросъемки эти отличия доходят до 10% среднего масштаба, в остальных случаях до 5%.

Если эта точность недостаточна, а также в случае отсутствия паспортных данных, знаменатель масштаба определяется фотограмметрически, путем сравнения длины идентичных отрезков, измеренных на аэроснимке и крупномасштабной топокарте:

$$m = m_k \frac{l_k}{l}, \quad (15)$$

где m и m_k — знаменатели масштаба аэроснимка и карты;
 l и l_k — измеренные длины идентичных отрезков на аэроснимке и на карте.

Сначала следует произвести ориентировочное определение (по любому отрезку), затем точное, по нескольким отрезкам, удовлетворяющим условиям:

- а) концы отрезка — контурные точки, четко опознающиеся на аэроснимке и на карте;
- б) длина отрезка — возможно большая (не менее 4 см на аэроснимке и на карте);

в) расстояние от середины отрезка до центра аэроснимка — минимальное (не более 3 см).

Если превышения в пределах аэроснимка не превосходят значений h_{\max} , приведенных в табл. 4 (h_{\max} выбирается по ори-

Т а б л и ц а 4

M	1:5000	1:10 000	1:15 000	1:30 000	1:50 000
h_{\max}	10 м	25 м	35 м	75 м	120 м

ентировочному значению M), то масштаб всего аэроснимка можно считать постоянным. Если превышения не превосходят h_{\max} в пределах всего маршрута аэрофотосъемки и масштабы, определенные по 2—3 снимкам в разных частях маршрута, различаются не более чем на 3%, то единый средний масштаб используется и для всего маршрута. Усреднять масштабы различных маршрутов аэросъемки нецелесообразно, так как это не упрощает работу, но может заметно снизить точность.

Если превышения больше h_{\max} , то нужно определять знаменатель масштаба m_A , относящийся к точкам местности, имеющим высоту A над уровнем моря. В этом случае масштаб следует определять по отрезкам, у которых превышение одного конца над другим не превосходит $2h_{\max}$. Масштаб, определенный по каждому из таких отрезков, относится к уровню местности, равному полусумме уровней его концов. Для повышения точности и надежности определения в качестве окончательного значения знаменателя масштаба m_A берется среднее из определенных значений. Оно относится к среднему из уровней середин измеряемых отрезков — $A_{\text{ср}}$.

Если фокусное расстояние АФА известно, то масштаб аэро- съемки относительно любого другого уровня $A = A_{\text{ср}} + h$ вычисляется по значению $m_{A_{\text{ср}}}$ с помощью формулы (4). Если же фокусное расстояние неизвестно, то масштаб приходится определять несколько раз для разных уровней местности.

Пример. В табл. 5 приведены данные измерений и вычислений для определения масштаба аэроснимка по четырем отрезкам. Исходный ориентировочный масштаб аэросъемки, произведенной АФА ТЭ-100, 1:15 000 ÷ 1:20 000, масштаб топокарты 1:25 000, высота местности в пределах маршрута согласно топокарте от 750 до 1000 м над уровнем моря. Поскольку в данном случае превышения местности достигают 250 м, а $h_{\max} = 35 \div 50$ м, масштаб каждого измеренного отрезка отнесен к средней отметке A концов этого отрезка, а окончательный масштаб и соответствующий ему уровень получены усреднением по всем измерениям.

Группируя измерения, относящиеся к близким уровням A , т. е. первое с четвертым, второе с третьим, можно получить масштабы изображения относительно двух разных уровней местности:

$$A_1 \approx 800 \text{ м}, \quad MA_1 \approx 1 : 13\,700;$$

$$A_2 \approx 950 \text{ м}, \quad MA_2 \approx 1 : 12\,800.$$

Таблица 5

	№ отрезков					
	1	2	3	4	5	
l , мм	115,3	86,7	78,5	91,0	$m_k=25\,000$	
l_k , мм	62,6	45,5	39,6	50,2		
$A_{\text{ниж}}$, м	830	940	920	750		
$A_{\text{верх}}$, м	870	990	980	810		
A , м	850	965	950	780		
m_A	13\,600	13\,100	12\,600	13\,800		
$A_{\text{ср}}-A$	+40	-75	-60	+110		$f=100 \text{ мм}$
$m_{A_{\text{ср}}}$	13\,200	13\,900	13\,200	12\,700		

$A_{\text{ср}}=890 \text{ м} \approx 900 \text{ м}; \quad m_{A_{\text{ср}}} = 13\,300; \quad MA_{\text{ср}} = 1:13\,300$

В рассматриваемом примере фокусное расстояние АФА известно ($f=100 \text{ мм}$). Это позволяет вычислить масштаб, относящийся к уровню $A_{\text{ср}}$ по каждому из отрезков, и установить точность измерений по сходимости результатов.

Знаменатели масштаба $m_{A_{\text{ср}}}$, вычисленные по каждому из отрезков, приведены в нижней строке таблицы. Их сходимость соответствует относительной погрешности порядка 2%.

Глава III

СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ

Стереоскопические наблюдения

Как известно, две различные плоские проекции пространственного объекта позволяют воссоздать и измерить этот объект. В частности, по двум смежным аэроснимкам маршрута создается стереомодель — пространственная модель местности, изображенной на их перекрывающейся части. Для визуального восприятия стереомодели нужно видеть левый аэроснимок стереопары левым глазом, правый — правым. Это достигается с помощью стереоскопа или стереочков. Однако при небольшой тренировке можно стереоскопически просматривать аэроснимки и без всяких приспособлений.

Для тренировки в получении стереоэффекта существуют специальные таблицы, однако можно пользоваться двумя любыми идентичными штриховыми рисунками, например марками, этикетками и т. д. Их кладут перед собой на однородный фон так, чтобы идентичные контуры были сдвинуты друг относительно друга на 2—3 см. Если некоторое время смотреть как бы «сквозь» эти рисунки «вдаль», то видны контуры трех идентичных объектов, средний из которых и является стереоскопическим. Сосредоточивая на нем внимание, наблюдатель через некоторое время видит его уже вполне четко: возникает устойчивый стереоэффект. Достигнув этого, следует постепенно раздвигать идентичные объекты. Практически всем удается таким образом получать стереоэффект при расстоянии между идентичными контурами порядка 6—7 см, а некоторым и до 12—15 см. Далее переходят к стереонаблюдению наиболее контрастных, а затем и любых аэроснимков. Стереомодель, полученная по идентичным объектам (в частности, по двум экземплярам одного и того же аэроснимка), представляется плоской, чтобы получить объемную стереомодель, надо иметь два перекрывающихся снимка, снятых из разных точек пространства.

Геологическое дешифрирование аэроснимков следует вести при стереоскопическом наблюдении. Стереоскопическое дешифрирование имеет следующие преимущества:

1) рельеф местности, наблюдаемый по стереомодели, дает ценные сведения о геологическом строении и обеспечивает более полную и правильную его интерпретацию;

2) основные фотограмметрические искажения, свойственные аэроснимку, у стереомодели отсутствуют. В частности, прямолинейные разломы, изобразившиеся вследствие влияния рельефа, кривыми или ломаными линиями на каждом из снимков стереопары, воспринимаются на стереомодели прямолинейными; прерывистые выходы идентичных пластов на разных склонах хребта или долины легко отождествляются и т. д.;

3) при стереоскопическом наблюдении дешифрируются мелкие детали и малоконтрастные контуры, незаметные на одиночном аэроснимке. Это объясняется тем, что бинокулярное зрение острее, чем монокулярное, а также тем, что на стереомодели в значительной степени компенсируются случайные флюктуации фототона каждого из аэроснимков. Стереонаблюдение позволяет сохранить резкость изображения при увеличении, в 1,3—1,5 раза большем, чем монокулярное наблюдение;

4) по одиночному фотоизображению трудно отличить ложные контуры и контрасты от истинных, стереонаблюдение существенно облегчает эту задачу. Это же относится к дефектам эмульсии аэропленки, неравномерности ее полива и особенностям фотохимической обработки, приводящим к появлению дополнительных контрастов фотонизображения, т. е. ложных объектов и контуров.

Нужно учитывать, что стереомодель не подобна местности. Основным отличием является преувеличение рельефа, т. е. растяжение модели в вертикальном направлении. При наблюдении на расстоянии наилучшего зрения, т. е. на расстоянии 250 мм (расстояние, оптически эквивалентное этому, обеспечивают все стереоскопы), модель растянута в $250:f$ раз*. Если аэросъемка сделана АФА с $f=200$ мм, это растяжение малозаметно, при уменьшении фокусного расстояния АФА растяжение модели возрастает и при $f=70$ мм достигает $3,5 \times$. Особенности восприятия рельефа при этом те же, что и при использовании профиля, вертикальный масштаб которого крупнее горизонтального.

При дешифрировании стереомодели, как и при использовании профиля, нужно знать отношения этих масштабов. Значение фокусного расстояния АФА, нужное для этого, приведено в паспорте аэросъемки, а при отсутствии паспорта определяется способом, изложенным ниже. При рассматривании стереомодели хорошо знакомой местности человек невольно компенсирует вертикальное растяжение стереомодели. Однако знать его величину нужно. Стереоскопическое дешифрирование (особенно вне полевого маршрута) ведут для получения новых, не известных ранее сведений, а при этом сознательный учет коэффициента вертикального растяжения приводит к более правильной интерпретации наблюдаемых объектов, чем интуитивный.

При визуальной оценке крутизны склонов по стереомодели нужно иметь в виду, что видимые, т. е. воспринимаемые при стереоскопическом наблюдении модели, углы наклона местности не только не равны истинным, но даже не пропорциональны им.

Кроме вертикального растяжения, стереомодель имеет деформации, которые можно разделить на две группы. Во-первых, крутые склоны и вертикальные объекты при приближении к краям стереомодели наклоняются от ее центра, вследствие чего крутизна склонов, падение которых направлено к центру модели, кажется меньшей, а имеющих падение от центра — большей, чем должно быть с учетом коэффициента вертикального растяжения. На краях стереомодели, составленной по широкоугольным аэроснимкам (т. е. по аэроснимкам, снятым АФА с $f=100$ мм и менее), крутые участки могут казаться наклоненными в противоположную сторону, нависающими над местностью, лежащей ниже их.

Во-вторых, наклон аэроснимков приводит к плавному наклону и прогибу стереомодели, достигающему $4-6^\circ$ при аэросъемке без гиросtabilизации и $1-1,5^\circ$ на гиросtabilизированных снимках.

* Это справедливо, если базис аэроснимков примерно равен главному базису, т. е. для снимков формата 18×18 см, снятых при нормальном 60%-ном продольном перекрытии.

Деформации особенно необходимо учитывать при выборе опознаков, т. е. при отождествлении контурных точек топокарты и аэроснимка. Если, например, возвышенность имеет склоны небольшой крутизны (порядка 10° и менее) и четкую точечную вершину на карте, то на стереомодели вследствие вертикального растяжения и деформаций за вершину можно принять случайную точку склона, вблизи которой его наклон несколько меняется и которая иногда много ниже истинной вершины и значительно удалена от нее. На широкоугольных негиростабилизированных аэроснимках, у которых плавная деформация стереомодели, усиленная вертикальным растяжением, создает впечатление дополнительного наклона местности на угол до 20° , подобные ошибки встречаются особенно часто. Их возможность исключают, выбирая опознаки по контурам, а не по рельефу, т. е. в точках слияния и крутых поворотов рек, пересечения дорог и т. д.

Если перед стереоскопическим наблюдением поменять аэроснимки местами, то возникает обратная стереомодель, в которой реки кажутся водоразделами, и наоборот. Она обычно воспринимается хуже правильной модели, так как противоречит имеющемуся представлению о местности. Иногда ее используют для лучшего выявления деталей врезанных долин.

Разворачивая оба снимка стереопары на 90° или рассматривая стереоскопически два экземпляра одного аэроснимка, получают нулевой стереоэффект, при котором любая местность кажется плоской.

Определение превышений по стереопаре аэроснимков

Чтобы сформулировать необходимые понятия и выяснить, каким образом смещения точек аэроснимка, вызванные рельефом, позволяют измерять превышения, рассмотрим (рис. 6) стереопару, т. е. два смежных плановых аэроснимка, на перекрытии которых изображены идентичные точки местности. Предположим, что аэросъемка отличалась от идеальной только наличием разворотов каждого из снимков в своей плоскости, величина которых нам неизвестна. Влияние остальных отличий от идеального случая рассмотрим ниже, при оценке точности. Отметим на левом снимке точку O_{21} , идентичную центру O_2 правого снимка, а на правом — точку O_{12} , идентичную центру O_1 левого снимка. Прямые O_1O_{21} и $O_{12}O_2$ называются начальными направлениями стереопары. Длины отрезков O_1O_{21} и $O_{12}O_2$ обозначаются соответственно через $b_{л}$ и $b_{п}$ и называются базисом левого и базисом правого снимка стереопары.

Точки S_1 и S_2 траектории полета, в которых находился АФА в моменты фотографирования левого и правого снимков, назы-

ваются точками стояния, а расстояние B между ними — базисом съемки. Нетрудно видеть, что базис снимка b_{Γ} равен базису съемки B в масштабе аэросъемки, относящемся к уровню точки O_2 . Аналогично базис b_{Π} равен B в масштабе, относящемся к O_1 .

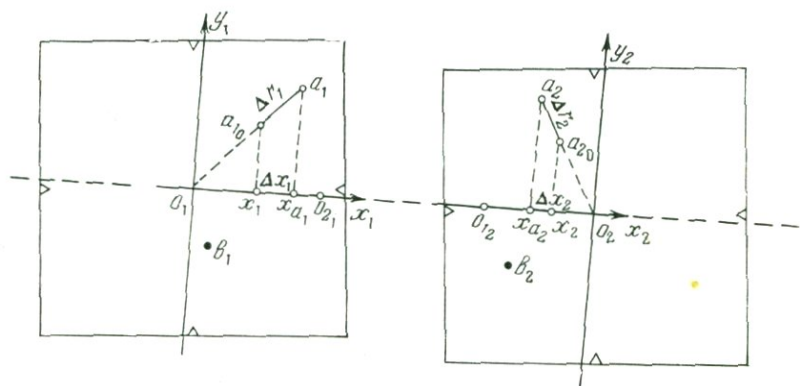


Рис. 6. Схема, поясняющая определение превышений по стереопаре аэроснимков

Введем на каждом снимке стереопары систему прямоугольных координат, с началом в центре снимка и осью ox_1 (соответственно ox_2) вдоль начального направления. Эти координатные системы используются при всех стереофотограмметрических измерениях.

Пусть имеются произвольные точки местности A и B , лежащие на разных уровнях (высотах) и изобразившиеся на стереопаре. Введем обозначения:

H_b — высота фотографирования относительно уровня точки B ;

h — превышение точки A над точкой B ;

a_1, a_2 — изображение точки A на снимках;

a_{01}, a_{02} — положение точек a_1 и a_2 после введения в них поправок за рельеф относительно уровня точки B ;

b_1, b_2 — изображение точки B ;

$x_{a_1}, x_{a_2}, x_1, x_2, x_{b_1}, x_{b_2}$ — абсциссы точек $a_1, a_2, a_{01}, a_{02}, b_1, b_2$;

$\Delta x_1 = x_{a_1} - x_1; \Delta x_2 = x_{a_2} - x_2$;

$r_1 = O_1 a_1; r_2 = O_2 a_2$ — радиусы-векторы точек a_1 и a_2 ;

$\Delta r_1 = a_{01} a_1; \Delta r_2 = a_{02} a_2$ — смещения, вызванные рельефом;

$p_A = x_{a_1} - x_{a_2}$ — параллакс (или продольный параллакс) точки A ;

$p_B = x_{b_1} - x_{b_2}$ — параллакс точки B ;

$\Delta p = p_A - p_B$ — разность параллаксов точек A и B .

Из рис. 6 следует:

$$\frac{\Delta r_1}{r_1} = \frac{\Delta x_1}{x_{a_1}}; \quad \frac{\Delta r_2}{r_2} = \frac{\Delta x_2}{x_{a_2}},$$

а из формулы (5):

$$\frac{\Delta r_1}{r_1} = \frac{\Delta r_2}{r_2} = \frac{h}{H_b}.$$

Следовательно,

$$\frac{\Delta x_1}{x_{a_1}} = \frac{\Delta x_2}{x_{a_2}} = \frac{h}{H_b}.$$

Перейдем от этих пропорций к производной пропорции

$$\frac{\Delta x_1 - \Delta x_2}{x_{a_1} - x_{a_2}} = \frac{h}{H_b}$$

и выразим h :

$$h = H_b \frac{\Delta x_1 - \Delta x_2}{x_1 - x_2} = \frac{x_{a_1} - x_1 - x_{a_2} + x_2}{x_{a_1} - x_{a_2}} = \frac{(x_{a_1} - x_{a_2}) - (x_1 - x_2)}{x_{a_1} - x_{a_2}}. \quad (16)$$

Так как изображение горизонтальной плоскости местности, проходящей через точку B , на обоих снимках идентично, то $x_1 - x_{b_1} = x_2 - x_{b_2}$, т. е. $x_{01} - x_{02} = x_{b_1} - x_{b_2}$. Подставляя последнее равенство в формулу (12), получим

$$h = H_b \frac{(x_{a_1} - x_{a_2}) - (x_{b_1} - x_{b_2})}{x_{a_1} - x_{a_2}}$$

или

$$h = H_b \frac{\Delta p}{p_a}. \quad (17)$$

Это и есть формула превышений, основная формула стереофотограмметрии, позволяющая определить превышение по высоте фотографирования и измеренным координатам точек снимков стереопары. Меньшая роль точек A и B в приведенном выводе, можно записать ее и в виде

$$h = H_a \frac{\Delta p}{p_b}. \quad (18)$$

Таким образом, *превышение между двумя точками равно их разности параллаксов, деленной на параллакс одной из точек и умноженной на высоту фотографирования над второй точкой.*

Заменяя p_b на $p_a + \Delta p$, а величину H_a на ее выражение через масштаб M_A или его знаменатель m_A по формуле (1), можно придать формуле (18) вид:

$$h = H_a \frac{\Delta p}{p_a + \Delta p} = 10^{-3} m_A f \frac{\Delta p}{p_a + \Delta p}. \quad (19)$$

Формула (19) удобнее предыдущих для определения превышений ряда точек над начальным уровнем точки A .

Параллаксы отдельных контурных точек аэроснимка в принципе можно измерять графически, начертив систему координат на каждом снимке стереопары. Предложены даже специальные инструменты для такого измерения параллаксов. Это палетка-параллаксометр и палетка геолога-дешифровщика ПГД. Однако графические измерения имеют среднюю точность 0,2 мм, а измеренные разности параллаксов часто являются величинами того же порядка. Кроме того, графически нельзя измерить параллаксы большинства точек снимка, так как они не лежат на пересечении четких контуров. Вследствие этого параллаксы измеряют по стереомодели, т. е. стереоскопически с помощью стереофотограмметрических приборов (стереоприборов).

Стереоприборы, предназначенные для измерительного дешифрирования, имеют две марки (для левого и правого аэроснимка), изменение расстояния между которыми осуществляется вращением параллактического винта и отсчитывается по его шкале. Аэроснимки закрепляют в приборе и, передвигая наблюдательную систему и вращая параллактический винт, совмещают марки с изображением одной и той же точки местности на левом и правом снимках стереопары. Если марки совмещены точно, то стереоскопически они сливаются в одну, лежащую на поверхности модели. Если расстояние между марками хотя бы на сотые доли миллиметра меньше расстояния между идентичными точками снимков, стереоскопически воспринимается одна марка, «висящая» над моделью. В противоположном случае марка «зарывается в землю» или начинает двоиться. Марки дwoятся (не воспринимаются стереоскопически) и тогда, когда расстояние между ними больше расстояния между идентичными точками снимков на 1 мм и более. Разность отсчетов по параллактическому винту стереоприбора, произведенных при наведении марки на две точки стереомодели, является разностью параллаксов этих точек.

Согласно формуле (19), для определения превышений, кроме разностей продольных параллаксов, нужно знать параллакс одной (начальной) точки. При работе на приборах, позволяющих измерять не сами параллаксы, а только их разности, в качестве начальной точки выбирают центр левого или правого снимка стереопары. По определению параллакса, как разности абсцисс идентичных точек, параллакс левого центра равен длине базиса на правом снимке $b_{\text{п}}$, т. е. расстоянию от его центра до точки, идентичной центру левого снимка стереопары. Аналогично параллакс правого центра можно непосредственно измерить на левом снимке, так как он равен $b_{\text{л}}$.

Если в пределах стереопары разности параллаксов малы, то в формуле (19) можно заменить H_a и m_A их средними значе-

ниями H и m ; p_a — длиной базиса b (равной $b_{\text{л}}$ или $b_{\text{п}}$ или их полусумме); Δp в знаменателе отбросить. Обозначив, кроме того, отношение высоты к базису через параллактический коэффициент

$$K = \frac{H}{b} = 10^{-3} m \frac{f}{b}, \quad (20)$$

получим

$$h = \frac{H}{b} \Delta p = K \Delta p. \quad (21)$$

Во всех формулах превышений h — в метрах, а Δp , p и b в миллиметрах. Параллактический коэффициент K имеет размерность м/мм.

Точность определения превышений

Из формулы (21) следует, что средние квадратические ошибки измерения разности продольных параллаксов $\sigma_{\Delta p}$ и определения превышений σ_h связаны зависимостью:

$$\sigma_h = \frac{H}{b} \sigma_{\Delta p}. \quad (22)$$

На прецизионных стереоприборах разности параллаксов измеряют с ошибкой порядка 0,01—0,02 мм. Длина базиса в зависимости от перекрытия 50—70 мм. Следовательно, эти приборы позволяют определять превышения с ошибкой примерно $\frac{H}{4000}$, т. е. в 1/4000 высоты фотографирования. Точность простейших стереоприборов в 2—3 раза ниже. Формула (22) позволяет предусмотреть возможную точность измерения превышений в конкретных случаях. Пусть, например, масштаб аэросъемки равен 1 : 10 000, $b=70$ мм, $\sigma_{\Delta p}=0,02$ мм. Если аэрофотосъемка производилась АФА с $f=70$ мм, то согласно (20)

$$K = 10^{-3} \cdot 10^4 \cdot \frac{70}{70} = 10; \quad \sigma_h = 10 \cdot 0,02 = 0,2 \text{ м.}$$

$$\text{Если же } f=350 \text{ мм, то } K=10^{-3} \cdot 10^4 \cdot \frac{350}{70} = 50; \quad \sigma_h=1,0 \text{ м.}$$

Реализовать точность, обеспечиваемую стереоприборами, при измерительном дешифрировании, как правило, нельзя из-за влияния ряда дополнительных ошибок. Рассмотрим основные из них.

Ошибки ориентирования аэроснимков в приборе. Формулы превышений справедливы только тогда, когда аэроснимки ориентированы в приборе по начальным направлениям, т. е. когда начальное направление каждого из них совмещено с осью абсцисс стереоприбора. На рис. 6 снимки находятся именно в этом положении. В простейших стереоприборах такое совмеще-

ние можно осуществить только с точностью 0,1 мм. Кроме того, центр и точку, идентичную центру другого снимка стереопары, переносят на аэроснимок тоже с ошибкой $0,1 \div 0,2$ мм.

Ошибка в Δr , внесенная неточным ориентированием, пропорциональна разности ординат измеряемых точек и может достигать величины ошибки ориентирования, т. е. в несколько раз уменьшать точность любого стереоприбора. Для ее уменьшения накол центров нужно делать возможно точнее. Перенос центров осуществляют стереоскопически, наблюдают стереомодель и накалывают на каждом аэроснимке точку, стереоскопически совпадающую с центром другого снимка.

Влияние наклона аэроснимков и колебание высоты полета в простейших стереоприборах не учитывается. Это приводит к дополнительной ошибке, в среднем равной 3% расстояния на местности между измеряемыми точками. Предельная ошибка может достигать 6—8% этого расстояния. Иначе говоря, в наклон отрезка местности, превышение между концами которого определяется, входит ошибка, достигающая 3—5°. Для близко расположенных точек она обычно незначительна, а для далеких — недопустимо велика. Так например, превышение над уровнем реки точки, находящейся в одном километре от реки, измеряется с ошибкой порядка 30 метров, т. е. много грубее, чем на топографической карте. При аэросъемке с гиостабилизацией рассматриваемая ошибка втрое уменьшается.

Влияние деформации фотопленки и фотобумаги вносит в Δr близких точек ошибку порядка 0,05 мм. С увеличением расстояния между точками снимка она возрастает до 0,3—0,5 мм.

Стереоскопы

Зеркально-линзовый стереоскоп ЗЛС-1 — наиболее простой прибор для стереоскопического просмотра и дешифрирования аэроснимков. Он состоит из стойки с ножками, с вмонтированными в нее парой внутренних и парой внешних зеркал, между которыми размещены линзы, обеспечивающие оптическое увеличение стереомодели в 1,2—1,3 раза. При наблюдении аэроснимков через стереоскоп легко возникает устойчивый стереоэффект. Прибор предельно прост в обращении, портативен и дешев, вследствие чего нашел широкое применение как в камеральных, так и в экспедиционных условиях.

Стереоскопы ЗС и СЗС и SLS2. Недостатком простейших стереоскопов, в частности стереоскопа ЗЛС-1, является незначительное оптическое увеличение стереомодели, препятствующее обнаружению и опознаванию мелких деталей фотоизображения. Вследствие этого в СССР наряду с ЗЛС-1 довольно широко применяются портативные стереоскопы ЗС, СЗС и SLS2, имеющие существенное оптическое увеличение.

Стереоскоп ЗС выпускается фирмой Карл Цейсс Йена (ГДР). У него, как и у ЗЛС-1, имеется опора с ножками и две пары зеркал, однако наблюдать изображение на внутренних зеркалах можно как непосредственно, так и через бинокляр прибора. При использовании бинокляра оптическое увеличение стереомодели равно $3,5\times$, а диаметр поля зрения 55 мм. Откинув бинокляр, можно просматривать одновременно всю стереомодель, образуемую стереопарой снимков формата 23×23 см и менее. Коэффициент увеличения в этом случае несколько меньше единицы.

Стереоскоп ЗС является измерительным стереоскопом. В его комплект входит параллаксметр, что позволяет вести стереофотограмметрические измерения, т. е. использовать ЗС в качестве простейшего стереофотограмметрического прибора. Стереоскоп ЗС весит в упаковке около 5 кг, т. е. достаточно портативен, и применяется, как и ЗЛС-1, в стационарных условиях и на полевых базах геологических партий.

Стереоскоп СЗС — отечественный вариант стереоскопа ЗС, отличающийся деталями конструкции и отсутствием параллаксметра.

Польский стереоскоп SLS2, выпускаемый фирмой PZO (Polskie Zaklady Optyczne), тоже близок к ЗС по конструкции и области применения.

Дешифровочные стереоскопы. Под этим термином обычно понимают стационарный или полустационарный стереоскоп со значительным оптическим увеличением и оптимальными условиями стереоскопического наблюдения, предназначенный главным образом для камерального дешифрирования. Дешифровочные стереоскопы являются сканирующими, т. е. в их конструкции предусмотрено быстрое и плавное «сканирование» стереомодели — перемещение оптической системы относительно аэроснимков, позволяющее при любом увеличении проследить контуры в пределах всей стереомодели без нарушения стереоэффекта. Как правило, дешифровочные стереоскопы — измерительные. Они снабжены механическими или оптическими параллаксметрами для стереофотограмметрического определения превышений. Укажем несколько дешифровочных стереоскопов, применяемых в СССР.

Интерпретоскоп (рис. 7) — первоклассный стационарный стереоскоп с высококачественной оптической системой, позволяющей плавно менять увеличение от $2\times$ до $15\times$. Правая и левая ветви оптической системы независимы, что создает оптимальные условия для стереоскопического наблюдения разномасштабных фотоизображений. Подсветка прибора позволяет работать как на отражение, так и на просвет, т. е. и по аэроснимкам и по аэронегативам, в частности по цветным аэронегативам. При этом предусмотрено раздельное регулирование яркости левого и правого изображений. Имеется устройство,

вращающее каждое изображение на любой угол, что существенно облегчает и ускоряет работу и позволяет стереоскопически просматривать неразрезанный фильм. Диаметр поля зрения прибора равен $200 \text{ мм} : v$, где v — коэффициент увеличения. Сканирование стереомодели достигается перемещением части оптической системы, осуществляемой легкими движениями от руки при неизменном положении снимков и глаз наблюдателя. Измерения ведутся с помощью параллаксметра. Габариты интерпретоскопа $126 \times 70 \times 128 \text{ см}$, масса 176 кг. Часть интерпрето-

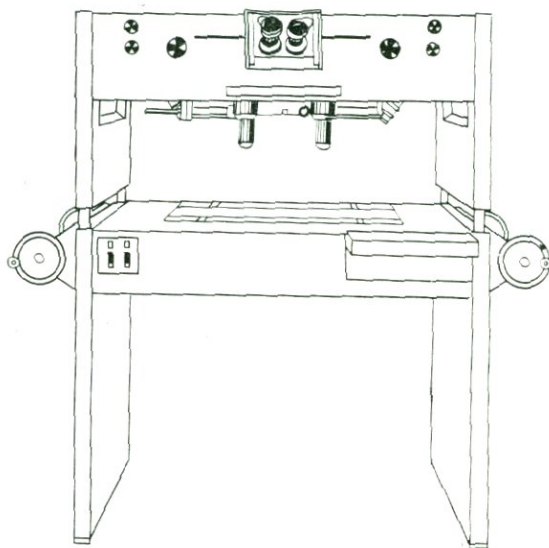


Рис. 7. Интерпретоскоп

сков выпускают в совещательном варианте. Такие приборы имеют sdвоенную оптическую систему и два бинокля, что позволяет видеть стереомодель одновременно двум наблюдателям.

Дешифровочный стереоскоп ДС-3 — отечественный сканирующий измерительный стереоскоп — имеет сменные бинокля с увеличением $3,6 \times$ и $7,2 \times$ и диаметром поля зрения соответственно 30 и 20 мм. Откинув бинокляр, можно просматривать без увеличения часть стереопары размером $15 \times 13 \text{ см}$. Стереоскоп отличается сравнительно простой оптической системой, в которой оптические оси окуляров перпендикулярны к плоскости аэроснимков. Вследствие этого горизонтальное расположение снимков было бы неудобно для наблюдателя и они расположены на наклонной деревянной подставке, входящей в комплект прибора. Аэроснимки, заложенные в

металлическую кассету, перемещаются в этой плоскости от руки, чем и достигается сканирование стереомодели. Для стереоскопических измерений служит параллаксметр. Наблюдение разномасштабных фотозображений не предусмотрено. Вес прибора порядка 15 кг.

Стереопантометр фирмы Карл Цейсс Йена (рис. 8) — прибор, используемый в качестве дешифровочного стереоскопа, но предназначенный также для переноса отдешифрованных контуров. В качестве оптической системы использован стереоскоп ЗС. Для «сканирования» стереомодели оптическая система перемещается по продольным и поперечным направляющим. Стереофотограмметрические измерения выполняются параллак-

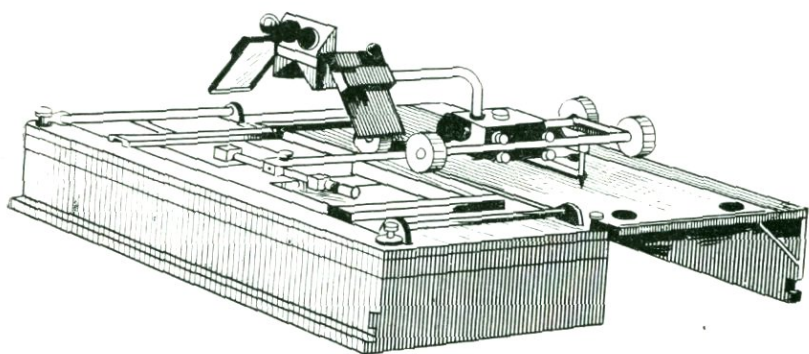


Рис. 8. Стереопантометр

сометром, скрепленным с наблюдательной системой. Основанием прибора служит его укладочный ящик, в который вмонтировано матовое стекло и осветители. Это позволяет дешифровать не только контактную печать на фотобумаге, но и аэронегативы, в частности неразрезанный аэрофильм. Прибор рассчитан и на крупноформатные кадры (до формата 30×30 см).

Методика определения превышений на измерительных стереоскопах

Стереофотограмметрическое определение превышений по аэроснимкам производится по разностям продольных параллаксов, для точного измерения которых служит параллаксметр. Он представляет собой металлический стержень, к которому прикреплены две стеклянные пластинки, отстоящие на 20—30 см одна от другой. В центре каждой пластинки имеется точечная марка. На правом конце стержня находится параллактический винт, при вращении которого правая пластинка с маркой

смещается вдоль параллаксометра. Каждый оборот винта соответствует сдвигу пластины на 1 мм, целое число оборотов отсчитывается по миллиметровой шкале на стержне прибора, а доли оборота — по шкале на барабане винта. Таким образом, изменение расстояния между марками можно отсчитать с точностью до 0,01—0,02 мм.

Измерение превышений на наиболее простом измерительном стереоскопе ЗС производится следующим образом. На аэроснимках стереопары прочерчиваются начальные направления и снимки закрепляют на столе так, чтобы расстояние между их идентичными точками было примерно равно расстоянию между марками параллаксометра, а начальные направления совместились с прямой линией, нанесенной предварительно на поверхности стола. В этом положении (см. рис. 6) снимки сориентированы по начальным направлениям. Над ними устанавливают стереоскоп и накладывают параллаксометр. Наметив точку измерения, перемещают параллаксометр от руки так, чтобы при наблюдении в бинокляр стереоскопа левая марка совпала с соответствующей точкой стереомодели, а правая казалась бы находящейся сбоку от нее. Затем вращением параллактического винта совмещают марки, слегка «приподнимают» совмещенную марку над поверхностью модели и медленно «опускают», добиваясь, чтобы она «легла» на поверхность. После этого снимают отсчет P со шкал параллаксометра. Разность таких отсчетов для двух точек является разностью параллаксов

$$P_1 - P_2 = \Delta p_{1-2} \quad (23)$$

(отсчеты параллактического винта стереоприбора обозначают в отличие от параллаксов заглавными буквами P). Самых параллаксов параллаксометр не измеряет. Поэтому вычисление превышений ведут по формуле (21) или по формуле (19), в которой значения p_A вычисляют по значению b_{Δ} и измеренной разности параллаксов точек A и O_2 (или по b_{Π} и Δp точек A и O_1).

Для повышения точности рекомендуется проводить измерения точек в два приема, по два наведения в каждом приеме, и усреднять их. Отсчеты не должны различаться более чем на 0,10 мм.

Пример. В табл. 6 приведен формуляр измерения и вычисления превышений ряда точек стереопары над уровнем уреза воды A . В этом примере вычисления велись по формуле

$$h = \frac{H_A}{p_A} \Delta p, \quad (24)$$

которую можно получить из формулы (19), отбрасывая Δp в знаменателе, или из формулы (21), заменяя в ней b на p_A . Это оправдано тем, что в данном случае величина $b - p_A$ много больше, чем величина Δp измеряемых точек (независимо от того, брать ли в качестве b значение b_{Δ} , b_{Π} или их полусумму).

Формуляр измерения и вычисления превышений

Стереоскоп ЗС с параллаксометром; аэрофильм СК-16; $f=100,3$ мм;
стереопара 87—88; $b_{л}=p_{O_2}=67,8$ мм; $M_A=1:12\ 300$

№ точки	P'				P, мм	Δp , мм	h, м	Примечания
	Первый прием		Второй прием					
	1	2	3	4				
O ₁	19,16				19,16			$H_A = 10^{-3} m_A f = 12,3 \times$ $\times 100,3 = 1235 \text{ м}$ $p_A = b_{л} + P_A - P_{O_2} =$ $= 67,8 + 15,8 - 18,4 =$ $= 65,2 \text{ мм}$ $K = \frac{H_A}{p_A} = \frac{1235}{65,2} = 19,0$ $h = K \Delta p$
O ₂	18,33	37	34	36	18,35			
A	15,81	83	82	85	15,80			
1	16,02	15,09	98	98	15,99	+0,19	+3,6	
2	15,95	95	96	93	15,95	+0,15	+2,8	
3	15,98	16,01	15,99	16,03	16,00	+0,20	+3,8	
4	16,11	12	12	13	16,12	+0,32	+6,1	
5	16,03	02	02	02	16,02	+0,22	+4,2	
6	16,57	55	54	53	16,55	+0,75	+14,2	
7	16,59	58	55	56	16,57	+0,77	+14,6	

Стереопантометр, с точки зрения измерений, отличается от стереоскопа ЗС тем, что ось абсцисс, на которую должны выводиться начальные направления снимков, прочерчена на световом столе прибора, и снимки можно установить на ней, наблюдая в бинокляр, т. е. точнее и удобнее, чем при работе с ЗС. Кроме того, параллаксометр скреплен со стереоскопом, что значительно ускоряет наведение марки на точки снимка.

Измерительная система интерпретоскопа принципиально не отличается от параллаксометра, однако это оптический, а не механический параллаксометр: измерительные марки входят в оптическую систему и наблюдаются в центре поля зрения каждого окуляра; параллактический винт укреплен на станине прибора и при его вращении меняется расстояние между объективами наблюдательной системы, а накладывать какое-либо устройство на снимки не требуется. Благодаря этому достигается максимальная производительность измерений. Не требуется и ориентирования аэроснимков по начальным измерениям: оно достигается автоматически путем разворота изображений в наблюдательной системе после стереоскопического визирования на центры обоих снимков.

Измерительные стереоскопы не имеют ни устройств для компенсации влияния углов наклона снимков, ни шкал для отсчета координат и поперечных параллаксов. Следовательно, с позиции стереофотограмметрических измерений все они являются простейшими приборами, предназначенными только для определения превышений между близкими точками и оценки наклона крутых склонов местности.

Стереофотограмметрические приборы

Топографический стереометр Дробышева СТД-2 — стереофотограмметрический прибор, позволяющий измерять превышения между любыми точками стереопары и проводить на снимке линии равных высот, т. е. горизонтали (рис. 9). Вместо точечных марок у стереометра имеются нити, укрепленные над снимками. Снимки укладываются на каретки-снимкодержатели так, чтобы их центры находились точно под центрами (узелками) нитей. Снимкодержатели установлены на общей каретке, кото-

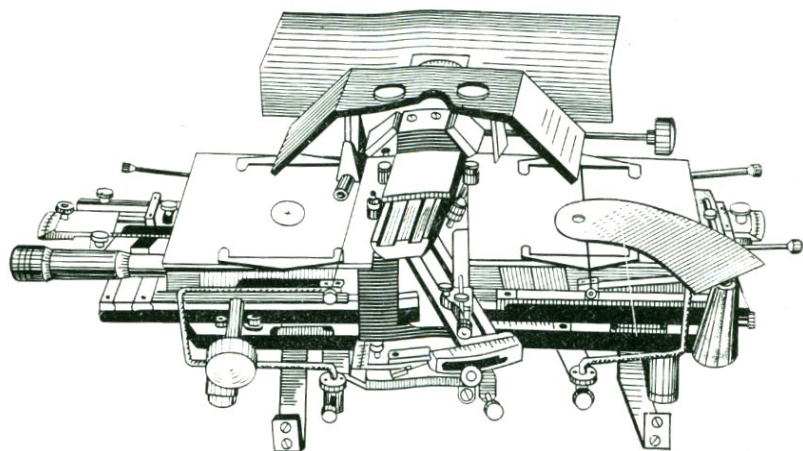


Рис. 9. Топографический стереометр СТД-2

рую можно сдвигать вдоль прибора, а стереоскоп имеет движение поперек прибора. Это обеспечивает наблюдение в пределах всей площади стереопары. Для ориентирования по начальным направлениям каретка каждого снимка имеет вращение в своей плоскости, а для стереоскопического наведения нити на точки одна из них (левая) сдвигается в продольном направлении вращением параллактического винта. Разности параллаксов отсчитываются с точностью до 0,01 мм по шкале и барабану параллактического винта, а сами параллаксы (с точностью до 0,5 мм) — по шкале, укрепленной на основании прибора. Наблюдательная система представляет собой простой зеркально-линзовый стереоскоп с увеличением порядка $2\times$.

Рассмотренные устройства позволяют использовать стереометр как измерительный стереоскоп, гораздо более удобный для измерения превышений между близкими точками, чем ЗС с параллаксометром. При таком использовании остальные устройства — коррекционные механизмы стереометра отключаются, т. е. на их шкалах устанавливаются нули, и превышения

измеряются и вычисляются так же, как на измерительных стереоскопах. Для измерения превышений между точками стереопары, находящимися на расстоянии более $5 \div 15$ мм друг от друга, а также для определения крутизны склонов с точностью более $3 \div 5^\circ$ по аэроснимкам, снятым без гиросtabilизации, и более $1 \div 2^\circ$ по гиросtabilизированным, необходимо использовать коррекционные механизмы. На СТД-2 их шесть. Они осуществляют дополнительные сдвиги и вращения кареток обоих снимков и нитей, которые полностью компенсируют влияние углов наклона снимков и колебаний высоты фотографирования.

Для использования коррекционных механизмов нужно знать элементы взаимного ориентирования снимков, т. е. их взаимные углы наклона вдоль и поперек маршрута аэросъемки $\Delta\alpha_x$ и $\Delta\omega$, а также истинные высоты четырех или шести стандартно расположенных точек стереопары.

Элементы взаимного ориентирования измеряют на прецизионных стереофотограмметрических приборах, стереокомпараторе или прецизионном стереомере. Высоты стандартных точек в равнинной и богатой контурами местности можно снять с крупномасштабной топокарты. В остальных случаях опознать на топокарте стандартные точки (имеющие строго определенное расположение на стереопаре) обычно не удается и их высоты определяют стереофотограмметрическим путем, тоже на стереокомпараторе или прецизионном стереомере.

Получив все рассмотренные данные, аэроснимки ориентируют на стереомере по стандартным точкам, что является в отличие от ориентирования по начальным направлениям довольно трудоемким процессом. В результате этого все коррекционные механизмы устанавливаются в нужные положения и отсчет Δr на любой точке стереопары соответствует идеальному случаю аэросъемки.

Для рисовки (проведения) горизонталей на параллактическом винте устанавливают соответствующий ей отсчет, смещают общую каретку и наблюдательную систему прибора так, чтобы нить все время «касалась» модели, и проводят горизонталь, отмечая на правом снимке точки касания. При геологическом дешифрировании аналогичным образом проводят трассирование пласта по отдельным его выходам, дешифрируемым на аэроснимке. При этом корректоры устанавливают не относительно горизонтальной плоскости (от которой отсчитываются превышения местности), а относительно плоскости пласта. Трассирование пласта возможно при углах падения, не превышающих 5° .

В конце сороковых — начале пятидесятых годов, до выпуска СТД-2, был распространен топографический стереомер СТД-1. Он отличается от СТД-2 только отсутствием двух из шести коррекционных механизмов, что снижает точность ри-

совки рельефа горных районов. Порядок работы на СТД-1 как с использованием коррекционных механизмов, так и без них тот же, что и на СТД-2.

Подробные указания по работе на СТД-2 имеются в курсах фотограмметрии, например, в книге М. Д. Коншина «Аэрофотограмметрия» (М., «Недра», 1967) или А. Н. Лобанова «Аэрофототопография» (М., «Недра», 1971), а также в «Кратком описании», входящем в комплект прибора.

Геологический стереометр ГС-4 (рис. 10) является модификацией СТД-2, специально предназначенной для нетопографиче-

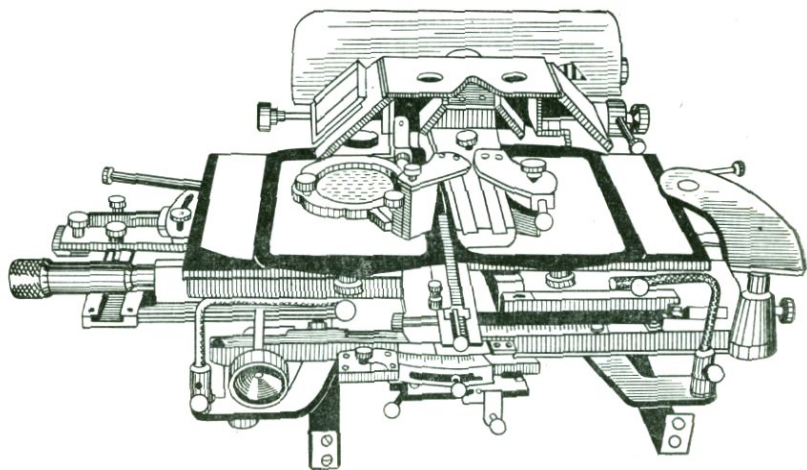


Рис. 10. Геологический стереометр ГС-4

ческих (прежде всего для геологических) целей. Стереометр ГС-4 имеет два существенных отличия от СТД-2:

1) на ГС-4 установлены съемные точечные марки и шкалы, позволяющие измерять поперечные параллаксы и координаты снимков. Вследствие этого прибор может работать и как стереометр, и как стереокомпаратор;

2) ГС-4 имеет механическое устройство для определения элементов залегания и мощностей пластов горных пород по аэроснимкам. Оно позволяет исключить графические работы, повысить точность и производительность этих определений по сравнению с графоаналитическими способами, неизбежными при использовании СТД-2 или измерительных стереоскопов. Согласно изложенным выше соображениям о точности стереоизмерений, определение элементов залегания пологопадающих пластов требует использования коррекционных механизмов.

Стереометр ГС-4 выпущен как в виде самостоятельного прибора, так и в виде насадки, которая устанавливается на топографический стереометр СТД-1 или СТД-2.

Универсальные стереоприборы. В аэрофототопографии универсальными стереоприборами принято называть приборы, позволяющие полностью составить по стереопаре аэроснимков соответствующую часть топографической карты. На универсальном приборе можно определить высоту и плановые координаты любой точки; обводя контуры модели пространственной маркой прибора, автоматически получать их плановое положение в нужном масштабе и с исправлением искажений, присущих аэроснимкам; закрепив марку на постоянной «высоте» и ведя ее по модели, вычерчивать горизонтали карты. Универсальные стереоприборы оптимальным образом решают, в частности, и все задачи измерительного дешифрирования.

В СССР используются главным образом отечественные универсальные приборы: стереопроекторы Романовского СПР-2 и СПР-3 и стереографы Дробышева СД-1 и СД-3.

Это сложные стационарные приборы высокого класса точности, созданные для топографического картирования. Для геологических целей эффективнее применение упрощенных универсальных приборов типа стереомикрометра SMG-4 фирмы Галилео-Сантони (Италия). Для геологического картирования точность измерений и переноса данных дешифрирования, обеспечиваемая стереомикрометром, вполне достаточна, а его преимущества — высокая производительность, простота в работе и возможность использования в полустационарных условиях — очень существенны.

Эффективное стереоскопическое дешифрирование со сканированием стереомодели, перенос отдешифрированных данных на топооснову и некоторые измерения осуществимы при работе с аэроснимками высокогорных районов, только на универсальных стереоприборах.

Глава IV

МЕТОДЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ АЭРОФОТОСНИМКОВ

Дешифрирование аэрофотоснимков имеет своей целью определение изображенных на снимках объектов. Дешифрирование может быть топографическим, геологическим или иметь иное значение.

Задачи геологического дешифрирования

При геологическом дешифрировании материалов аэрофото-съемки выявляются такие объекты, которые могут быть выражены геологическими условными обозначениями. Геологичес-

кое дешифрирование основано на использовании главнейших особенностей геологического строения и морфологии земной поверхности, отображенных на аэроснимках.

Геологическое дешифрирование позволяет решать следующие задачи:

- 1) получать модель местности в заданном масштабе;
- 2) определять параметры геологических объектов в камеральных условиях путем фотограмметрических работ;
- 3) точно и рационально располагать точки наземных наблюдений и осуществлять надежную их привязку;
- 4) выявлять особенности геологического строения земной поверхности, не улавливаемые обычными средствами полевых наблюдений;
- 5) иметь возможность наблюдать не один, а несколько объектов исследования одновременно в их естественных соотношениях;
- 6) производить геологическое, а также геоморфологическое и иное изучение земной поверхности как по линиям маршрутов, так и на площадях, расположенных между маршрутами, и, пользуясь дешифрировочными признаками, вести интерполяцию наблюдений между маршрутами;
- 7) заблаговременно получать данные о геологических и геоморфологических особенностях местности путем предварительного дешифрирования аэрофотоматериалов; разрабатывать наиболее рациональные планы полевых работ;
- 8) выявлять степень обнаженности местности и расположения обнаженных участков и выбирать на этой основе наиболее полноценные полевые маршруты.

Применение аэрометодов значительно повышает документальную точность составляемых геологических карт, а также выводов, касающихся геологического строения, геоморфологии и размещения полезных ископаемых площади исследований, и уменьшает влияние субъективных взглядов, неизбежное при обычном методе графического построения карты путем интерпретации данных точек и маршрутов наземных наблюдений, а также открывает широкие возможности уменьшения стоимости наземных работ.

Фотогеничность геологических объектов

Эффективность применения аэрометодов зависит от естественных условий района, от задач, поставленных перед исследователем, а также от принятой общей методики работ. Важную роль при этом играет так называемая «фотогеничность» района, т. е. степень отражения в физико-географическом ландшафте, и прежде всего в рельефе, особенностей геологического строения и отсюда степень возможности (или достоверности)

распознавания геологической структуры по рисунку аэрофото- снимка.

Геологическая фотогеничность, а следовательно, и эффективность применения аэрометодов зависят в первую очередь от особенностей строения геологического объекта (литологии и тектоники), характера рельефа и его расчлененности, обнаженности горных пород, наличия растительного покрова, покрова новейших континентальных образований и следов культурной деятельности человека. В связи с этим принято различать три степени геологической дешифрируемости аэрофотоматериалов: хорошую, среднюю и слабую (плохую).

При хорошей дешифрируемости существует возможность выделить все элементы геологического строения: границы стратиграфических подразделений осадочных и эффузивных пород, контуры интрузивных массивов и основные разновидности слагающих их пород, генетические и возрастные группы новейших континентальных образований, элементы складчатой структуры и основную часть разрывных нарушений. Устанавливаются элементы залегания и мощность пород. При хорошей дешифрируемости уже на стадии предварительного дешифрирования можно получить весьма полное представление о геологическом строении местности.

При средней дешифрируемости выделяются только главные элементы геологического строения и тектоники. Устанавливаются границы литологически различных пород, слоистость в осадочных и эффузивных толщах выделяется лишь на отдельных участках, контуры интрузивных тел видны не повсеместно и частично устанавливаются по косвенным признакам, новейшие континентальные образования и разрывы дешифрируются более или менее четко. Элементы залегания и мощность пород удастся определить лишь в отдаленных пунктах. При предварительном изучении аэрофотоматериалов со средней дешифрируемостью удастся составить лишь схематическое представление о геологическом строении.

При слабой (плохой) дешифрируемости выявляются лишь некоторые элементы геологического строения и тектоники. В осадочных и вулканогенных толщах намечается только преобладающее простираение слоев, границы интрузивных тел проводятся условно по косвенным признакам, новейшие континентальные образования оконтуриваются без расчленения, элементы складок и положение разрывов выявляются по косвенным признакам. При предварительном дешифрировании устанавливаются лишь отдельные черты геологического строения.

Дешифрируемость аэроснимков в значительной степени зависит от климатической зональности. В условиях сухого и полупустынного климата возникают мелкие формы рельефа, что при маломощном рыхлом покрове способствует полноте выражения на поверхности не только крупных черт геологического строе-

ния, но и его деталей. Равнинные области с длительно протекавшими процессами плоскостного смыва и мощным покровом новейших образований представляют значительные трудности для дешифрирования аэроснимков. Не меньшее значение имеет степень обнаженности пород. Обычно чем лучше обнаженность, тем совершеннее и фотогеничность. Однако известны случаи, когда хорошо обнаженные районы из-за отсутствия четких соотношений между современными физико-географическими ландшафтами (рельеф, растительность, гидросеть) и геологическим строением района квалифицируются как районы с плохой дешифрируемостью.

Существенное влияние на результативность применения аэрометодов оказывают особенности геологического строения района. Наибольший эффект дает изучение районов со сложной геологической структурой, разнообразными литологическим составом коренных пород и четким выражением различий между основными стратиграфическими комплексами по их окраске, крепости, слонстости, трещиноватости, составу и условиям залегания.

Растительный покров влияет на фотогеничность геологических структур двояко. В одних случаях густая древесная и кустарниковая растительность маскирует геологические структуры, а в других наблюдается зависимость растительности от состава горных пород, которая позволяет расшифровывать геологическое строение.

Травянистая растительность и низкий кустарник нередко тесно связаны с формами микрорельефа; они не только не мешают ясности изображения геологических объектов на аэроснимках, но и в большой степени способствуют их четкости. Расположенные на фоне крупных форм рельефа отдельные выступы, гребни и гривки всегда вытягиваются по простираанию слагающих их пластов.

В летнее время на вершинах гребней трава быстро желтеет и выгорает, а в разделяющих их ложбинах, где почва более влажная, трава гуще и дольше сохраняет свой зеленый цвет, образуя яркие полосы, передающиеся на аэроснимке. Использование изображений растительного покрова при геологическом дешифрировании должно применяться для конкретных ландшафтно-географических условий.

Покров новейших континентальных образований в виде делювиальных, эоловых, ледниковых, покровных и других накоплений нередко полностью скрывает коренные породы. Тем не менее известны районы, на аэроснимках которых сквозь мощные пески, являющиеся серьезным препятствием при наземном картировании, можно ясно различать очертания разнородных коренных пород.

Элювиальные (остаточные) почвы могут отражать состав и структуру подстилающих коренных пород, хотя и не везде в

одинаковой степени. В районах, где преобладают процессы химического выветривания, способность почв сохранять свойства материнских пород сильно понижается. Влияние коренных пород на почвы почти не сказывается в субтропиках. Чем суше климат, тем менее выражен процесс почвообразования и тем контрастнее и полнее изображаются коренные породы на аэроснимках.

Влияние делювиального и элювиального покрова на изображение коренных пород зависит также от его мощности. Если мощность элювиально-делювиальных образований невелика, она почти не снижает общую фотогеничность коренных пород. Это объясняется тем, что при разрешающей способности глаза, равной 0,2 мм, на аэроснимках, например, масштаба 1 : 25 000 можно заметить все полосы, имеющие на местности ширину не менее 5 м. Если смещение деления и элювия вниз по склонам не превышает указанной величины и эти образования сохраняют основные свойства коренных пород (окраску и пр.), четкость изображения коренных пород на аэроснимке почти не снижается.

Деятельность человека, связанная с распахиванием почв и посевами, отрицательно влияет на дешифрируемость геологических структур. Систематическая вспашка земли нарушает естественные связи между микрорельефом, окраской почвенного покрова, растительностью и геологическим строением и уничтожает многие геологические дешифрировочные признаки. Однако нередко сквозь пашни удается довольно уверенно наметить залегание коренных пород.

В гористых областях выбранные для пашни склоны обычно террасируются. Террасовидные уступы устраиваются также для предохранения склонов от размывания дождевыми потоками. Изображение террасовидных склонов на аэроснимках очень напоминает изображение выходов горизонтально залегающих пластов, с которыми их не следует путать.

Дешифрирующие признаки

При дешифрировании аэроснимков прибегают к трем основным приемам: 1) сопоставлению с эталонными снимками; 2) сопоставлению и сравнению объектов в пределах одного снимка; 3) логической интерпретации. Логическая интерпретация, основанная на анализе сочетаний различных свойств объектов, отраженных в их изображении на аэроснимках, нередко может дать возможность определить и сами объекты. Например, дороги, сходящиеся к противоположным берегам реки, указывают на переправу или брод; дороги в степи, сходящиеся к одной точке, свидетельствуют о существовании колодца и т. п.

По используемым средствам дешифрирование делится на ви-

зуальное, или глазомерное, визуально-инструментальное, производящееся с помощью стереоскопов, параллаксометров и других простейших приборов, и инструментальное, выполняемое с применением специальных приборов и машин.

В полевых условиях геологи прибегают в основном к визуальному и визуально-инструментальному дешифрированию.

При геологическом дешифрировании используются как прямые признаки, отображающие на аэроснимке непосредственно дешифрируемый объект, так и косвенные, передающие те или иные геологические свойства объекта не прямо, а через посредство других явлений: растительность, почвы, обводненность и т. п. Сложность геологического дешифрирования аэроснимков заключается в многообразии объектов и изменчивости их изображения.

Прямые признаки

К прямым дешифрировочным геологическим признакам относятся: геометрическая форма, размеры, тон (цвет), рисунок форм земной поверхности.

Ф о р м а. Изображение на плановом снимке близко к ортогональной проекции, и лишь высокие предметы по краям снимка видны наклоненными от центра. Обычно обращается внимание на направление и форму линейных границ и других элементов, площадную конфигурацию объектов и объемную форму. Наиболее обычные задачи, которые приходится решать при геологическом дешифрировании, связаны с определением углов наклона рельефа и определением углов падения слоистых толщ, сместителей разрывов, контактов интрузивных массивов и т. д. Эти задачи решаются фотограмметрическими приемами.

Р а з м е р. Изучение линейных размеров, площадей и других параметров по аэроснимкам приведено в главе II.

Т о н. Тоном называется степень почернения или яркость изображения на аэроснимке. При нормальном зрении удается различать 32—35 оттенков от белого до черного цвета. Тон изображения зависит от большого числа факторов, из которых основными являются: яркость объекта, цвет, условия фотографирования, состава пленки, бумаги. Яркость объекта складывается из освещенности солнечным светом, свойств и отражательной способности его поверхности. Максимальную освещенность имеют поверхности, расположенные нормально к солнечным лучам.

Отражательная способность зависит от структуры поверхности, которая может быть гладкой, матовой или шероховатой. Гладкая поверхность воды дает зеркальное отражение солнечных лучей и изобразится на аэроснимке ярко-белым тоном; при обычных условиях вода поглощает свет и изображается темными тонами. Матовая поверхность дает равномерный серый тон. Изображение шероховатой поверхности характеризуется неров-

окраской, вызываемой повышениями рельефа, отбрасываю-
 ми тень.

Цвет объекта зависит от окраски падающего света и от от-
 сательной способности поверхности предмета. Солнечный
 г несколько меняется в зависимости от метеорологических
 овий. При освещенности объекта солнечными лучами часть
 ей спектра поглощается, а часть отражается. Отраженные
 и имеют определенную окраску, дающую представление о
 те объекта. Попадая на светочувствительный слой пленки,
 аженные лучи в зависимости от их окраски вызывают раз-
 ную плотность изображения, по которой и судят о спек-
 ьной отражательной способности — цвете соответствующего
 екта.

Большое значение при дешифрировании аэроснимков имеет
 ь. Последней называется пространство, не освещенное пря-

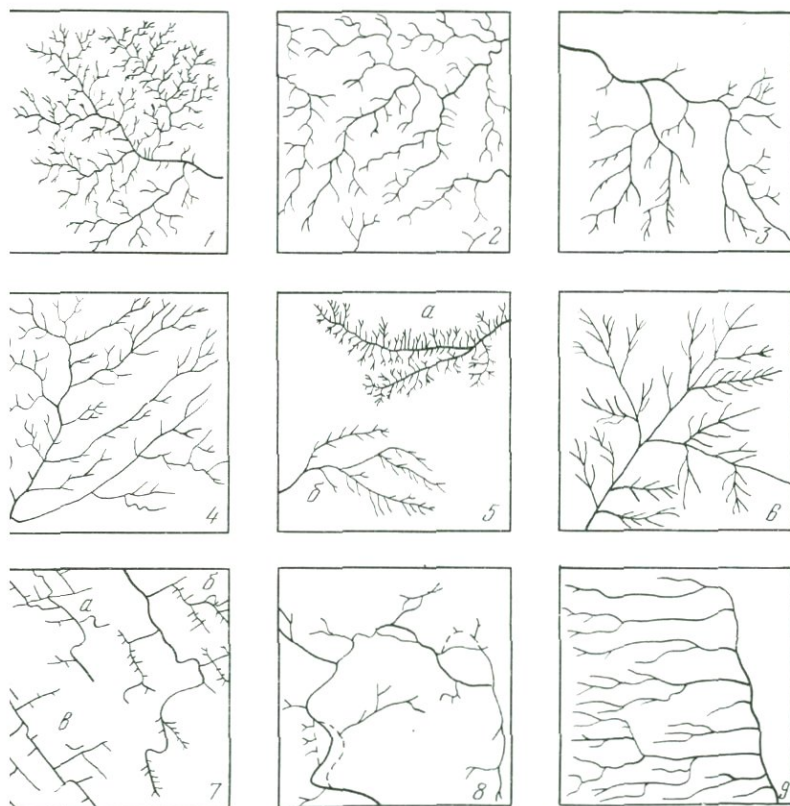


Рис. 11. Виды расположения эрозионной сети (по Г. В. Гальперову)

— дендритовидный; 3 — субдендритовидный; 4 — субпараллельный; 5 — дендритовид-
 ребенчатый (а) и дендритовидно-иглочатый (б); 6 — перисто-дендритовидный;
 диагональный (а) и сетчатый (б); 8 — беспорядочный;
 9 — субпараллельный. Масштаб рисунков одинаковый

мым светом. Не освещенная солнцем сторона предмета образует собственную тень, а тень, отбрасываемая предметом на земную поверхность,—падающую тень. Тень является дешифровочным признаком, позволяющим отличать объемный предмет от плоского. Падающая тень помогает установить формы рельефа: обрывов, промоин, гребней, водоразделов и т. п.

Наряду с положительным эффектом при съемке местности с горным рельефом тени имеют и отрицательное значение, так как затемняют значительные площади.

Рельеф. Рисунок рельефа на аэроснимке часто полностью подчинен геологическому строению и геоморфологическим особенностям. В большинстве случаев своеобразный, хорошо фиксирующийся на аэроснимках рельеф обусловлен структурными особенностями, литологическим составом, физическими свойствами или генетическими условиями формирования различных горных пород. Все эти факторы в силу различного проявления селективного выветривания и денудации, определенной избирательности эрозии и аккумуляции рыхлого материала отражаются на поверхности в виде характерных форм мезо- и микро-рельефа, в развитии мелкой гидрографической сети и в характере распределения растительности.

Особенности рисунка рельефа свойственны не только комплексам горных пород, но и каждой пачке и даже каждому пласту в отдельности (микрорельеф). Различают струйчатый рисунок рельефа, развивающийся на крутых склонах и мягких породах, ветвистый, формирующийся на породах с массивной текстурой (например на гранитах), сетчатый и др.

Характер эрозионной сети отражает различные свойства горных пород и условия их залегания. Густота, ориентировка и сочетание речных и овражных долин и водотоков позволяют создать представление о водонепроницаемости, трещиноватости, литологическом составе пород, условиях их залегания, нарушенности разрывами и т. п.

На рис. 11 приведены наиболее обычные виды расположения эрозионной сети.

Косвенные признаки

Все явления и предметы в природе находятся в тесной взаимосвязи, поэтому различные объекты изучения оказываются не изолированными, а находящимися в определенных сочетаниях. Из этой взаимосвязи и возникают так называемые косвенные признаки. Среди них основное значение имеют геоморфологические признаки, характер растительности, цвет и степень увлажнения почв, водные источники и некоторые другие.

Геоморфологические признаки. Крепость пород и устойчивость их к процессам выветривания играют основную роль в формировании макро- и микроформ рельефа. Большое значение

имеет нарушенность пород трещинами и разрывами со смещениями, предопределяющими рисунок и ориентировку сети речных и овражных долин. Обособленные типы рельефа развиваются на всей площади распространения пород с определенными физическими и структурными свойствами. Это дает возможность выделять распространение разновозрастных толщ или пород, близких по составу и происхождению (например новейшие континентальные образования, кислые интрузивные породы, закарстованные известняки и т. д.), а также проследивать по простиранию отдельные слои, пачки или свиты даже при отсутствии обнажений этих пород на земной поверхности. Особенно важны линейные повышения в рельефе, возникающие обычно над крепкими жилами и дайками изверженных пород.

Растительность. Хорошо известно произрастание отдельных видов древесной, кустарниковой и травянистой растительности на почвах определенного состава. На сильно известковистых почвах травянистая растительность редкая или совершенно отсутствует, но охотно расселяются кустарники. В условиях степного Казахстана этот признак легко позволяет выявлять слои и линзы карбонатных пород. Прорывы в полосе сплошной древесной растительности нередко возникают на крутых или обрывистых участках рельефа, сложенных крепкими породами. Особенно в большей степени древесная растительность способствует успеху геологического дешифрирования при горизонтальном или слабонаклонном залегании пород с развитым на них расчлененным рельефом.

Почвы. Основными индикаторами почв являются их цветовые оттенки, проявляющиеся на аэроснимках в изменении тональности. При использовании их изображений на аэроснимках для целей геологического дешифрирования почвы должны быть хорошо обнажены и лишены сплошного растительного покрова. Окраска почв зависит главным образом от литологических особенностей исходных пород, соотношения гумусовых и минеральных частиц, механического состояния, засоленности и степени увлажнения.

Наибольший эффект использования изображения почв достигается в тех случаях, когда почвы залегают непосредственно на коренных породах или на их элювии. Наиболее часты пятнистые, точечные, полосчатые, прямолинейные, извилистые монотонные рисунки почв.

Солончаковые почвы имеют обычно неровную пятнистую окраску; загипсованные и соленосные породы покрываются светлыми неровными полосами, вытянутыми вдоль долин и водораздельных гряд. Своеобразный точечный или волнистый рисунок образуют песчанистые почвы, развитые на дюнных песках и песчаных аллювиальных шлейфах. На делювиально-пролювиальных образованиях, лёссовидных и покровных суглинках развиваются почвы, дающие ровные монотонные изображения.

Степень увлажнения почв. Увлажнение почв прежде всего сказывается на характере травянистой растительности, что может служить важным дешифрировочным признаком в степных, полупустынных и пустынных зонах. Особенно большое значение этот дешифрировочный признак имеет при выявлении разрывных нарушений и других проницаемых участков в земной коре. Этим же целям могут служить и водные источники. По выходам последних нередко удается устанавливать положение поверхностей несогласий, сместителей разрывов и иных структур.

Комплексное ландшафтное дешифрирование

Широкое распространение получило дешифрирование по комплексам ландшафтных индикаторов, отражающих геологическое строение. С помощью этого метода производят ландшафтное районирование и устанавливают взаимосвязи единичных компонентов ландшафта с элементами геологического строения. При этом для каждого из ландшафтных районов выделяется комплекс геологических, геоморфологических, неотектонических, почвенно-биологических и других природных условий, отражающих на аэрофотоснимках в виде комплекса дешифрировочных признаков — ландшафтных индикаторов. Установленный комплекс ландшафтных индикаторов соответствует участкам земной поверхности с определенными условиями осадкоаккумуляции, магматизма, метаморфизма, металлогении и тектонического строения. Изменение геологического строения отразится и на ландшафте, следовательно, и на сочетании ландшафтных индикаторов.

Применение метода комплексного ландшафтного дешифрирования значительно продуктивнее геологического дешифрирования по отдельным признакам.

Применение цветной и спектральной аэро съемки

Цветная фотография с наибольшей реальностью передает цвет дневной поверхности Земли и окраску горных пород, являющуюся в ряде случаев одним из основных геологических дешифрировочных признаков. Наилучшие результаты при дешифрировании цветных аэроснимков дают крупномасштабные аэроснимки от 1 : 25 000 до 1 : 3 000.

Цветные аэроснимки имеют ряд несомненных преимуществ перед черно-белыми. Особенно успешно применяется цветная аэро съемка для районов с хорошей обнаженностью и наличием резкого цветового контраста между разнородными и ярко окрашенными горными породами, а также для районов развития рыхлых элювиально-делювиальных образований, если они сохраняют свойства коренных пород.

Как показывают наблюдения, горные породы на поверхности далеко не всегда имеют свой естественный цвет (т. е. цвет их в свежем изломе). Последний чаще характерен для осыпей на крутых склонах, состоящих из обломков со свежим изломом.

Коренные выходы горных пород нередко покрыты коркой загара красно-бурого, темно-бурого и даже черного цвета, которая часто маскирует их истинную, относительно более светлую окраску. Такую же роль играют лишайники, развивающиеся на поверхности скальных выходов горных пород и имеющие яркие желтые, оранжевые и зеленовато-серые цвета.

К естественной окраске горных пород в условиях хорошей обнаженности почти всегда примешивается зеленый цвет произрастающей на их поверхности травянистой растительности (например сизо-зеленый цвет полыни в степных районах), который также несколько искажает цвет горных пород на аэроснимках. Большое значение для резкости изображения на цветных аэроснимках имеют масштаб съемки, размеры объектов, крутизна склонов рельефа. По мере уменьшения масштаба отличия и границы между отдельными неодинаково окрашенными горными породами постепенно исчезают.

Резкость цветного изображения возрастает с увеличением размеров объектов. Так, при масштабе 1:10 000 цветная аэрофотосъемка будет иметь значительные преимущества перед черно-белой только в том случае, если мощность контрастно окрашенных пластов окажется равной не менее 20—30 м. Пестроцветные толщи, состоящие из различно окрашенных маломощных пластов, имеют на цветных аэроснимках общий преобладающий или суммарный цвет этих пород.

Цветные аэроснимки увеличивают эффективность геологического дешифрирования при наличии в составе пород ярко окрашенных и хорошо обнаженных свит, пачек или достаточно мощных пластов, окраска которых сохраняется и может быть прослежена по простиранию на значительные расстояния. Используя такую свиту, пачку или пласт в качестве «маркирующего горизонта», представляется возможным производить на цветных аэроснимках достаточно надежное дешифрирование геологических структур.

Для повышения контрастности изображения применяют спектрзональное фотографирование.

Успешные опыты применения спектрзональной аэросъемки были проведены при поисках зелено-серых меденосных песчаников, залегающих среди красноватых верхнепалеозойских толщ Казахстана. В качестве позитивного материала при печати со спектрзональных негативных пленок может быть использована и бумага для черно-белой печати.

ДЕШИФРИРОВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНО И НАКЛОННО ЗАЛЕГАЮЩИХ ТОЛЩ

В изображении на аэроснимках горизонтально залегающих слоистых осадочных или вулканогенных пород очень много общего с расположением границ на соответствующих геологических картах.

Слоистость осадочных пород передается на аэроснимках чередованием тонов различной плотности, зависящей от естественной окраски пород, их физических свойств, рельефа, иногда растительности. Чем большей избирательностью обладают перечисленные выше явления, тем резче будут видны на снимках границы между отдельными слоями.

Форма границ между слоями зависит главным образом от строения земной поверхности. При горизонтальном рельефе на значительном пространстве может быть обнажен один и тот же слой, и на аэроснимке в таких случаях появятся поля с монотонной окраской, лишенные слоистости. При расчлененной поверхности границы между слоями будут иметь сложный рисунок, очерчивающий основные формы рельефа (рис. 12).



Рис. 12. Горизонтально залегающие толщи в Восточной Сибири. Согласная интрузия траппов (А)

В залесенных и степных районах растительность обычно теснейшим образом связана с составом коренных пород. На сильно-известковистых почвах древесная и травянистая растительность становится редкой или совершенно исчезает, ее место занимает сеть кустов, придающих изображению известковистых пород пятнистую окраску (рис. 13).

Формы рельефа и микрорельефа, присущие каждому из слоев или пачкам однородных по физическим свойствам пород, зависят от крепости пород и их сопротивляемости процессам выветривания. При значительных различиях на каждом из слоев возникают обособленные формы рельефа и микрорельефа, позволяющие проследивать слои на большие расстояния и производить их корреляцию.

В горизонтально наслоенных вулканогенных толщах, помимо характерных признаков дешифрирования вулканических пород (см. главу VII) условия их залегания дешифрируются главным

образом по строению рельефа. Покровы эффузивов всегда имеют заметные различия в вертикальных разрезах как в составе, так и в физических свойствах слагающих их пород, особенно хорошо выраженные тогда, когда застывшие лавы чередуются с пирокластами или осадочными породами. Тонкозернистые и стекловатые эффузивы обычно крепкие и образуют в рельефе крутые уступы, эскарпы или обрывы, хорошо видимые на аэроснимках в виде полос, повторяющих очертания рельефа. Имеют

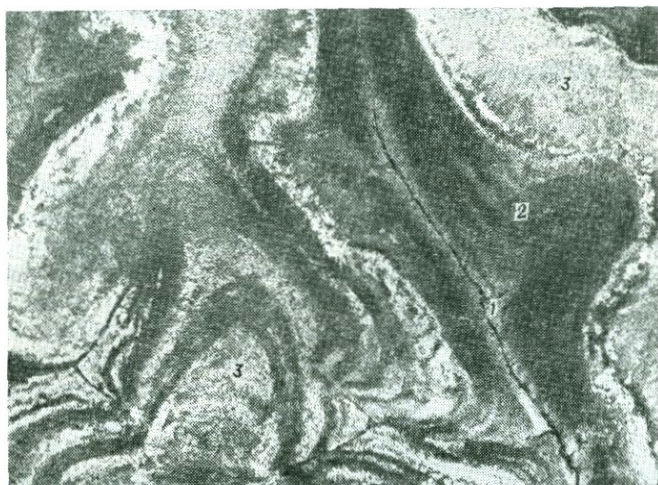


Рис. 13. Горизонтально залегающие средне-верхнеюрские отложения в Восточной Сибири

1 — четвертичные аллювиальные отложения; 2 — зелено-серые песчаники с прослоями алевролитов и углисто-глинистых сланцев; 3 — светло-серые известковистые песчаники с прослоями глинистых сланцев

значение и выровненные участки склонов с мягкими формами рельефа.

Стратиграфическое расчленение горизонтально наложенных толщ следует производить на специально подобранном и предварительно отделированном участке с возможно более полным стратиграфическим разрезом. Естественно, что такие участки должны иметь достаточно широкий диапазон высоких и низких отметок рельефа.

Вычисление мощностей выделяемых стратиграфических подразделений по аэроснимкам производится путем определения разности высотных отметок их кровли и подошвы в опорном или ином разрезе.

Очень много дают аэроснимки для фациального анализа горизонтально залегающих толщ. Изменение окраски пород,

строения рельефа, и микрорельефа, а также растительность тонко реагирует на все изменения состава и текстуры пород, что при внимательном и правильном анализе аэрофотоматериалов дает возможность выявить закономерности изменения фаций на широких площадях.

Дешифрирование наклонно залегающих толщ представляет более сложную задачу. Кроме решения вопросов, связанных со стратиграфическим расчленением, определением литологического состава и характера геологических границ, на аэроснимках с большой точностью могут быть определены элементы залегания и мощности слоев. Определение элементов залегания производится по «пластовым треугольникам».

На аэроснимках с изображением наклонного залегания легко увидеть характерную особенность в форме выхода пласта на поверхности. Пласт изогнут таким образом, что угол, образованный изгибом в самой нижней точке рельефа (в долинах), направлен по падению пласта, а в самой высокой точке рельефа (на водоразделах) — по его восстанию. Если мысленно соединить стороны углов прямыми линиями, получим «пластовые треугольники» (рис. 14).

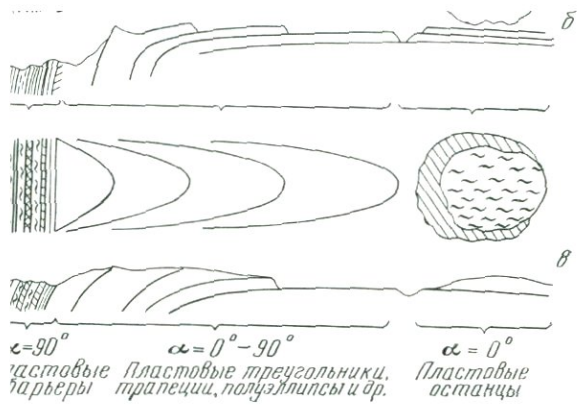


Рис. 14. Пластовые треугольники на поверхности при расчлененном рельефе
а — в русле реки угол направлен по падению слоев; *б* — на водоразделе угол направлен по восстанию слоев. Стрелкой указаны элементы залегания слоев

При визуальной оценке направления наклона слоев по пластовым треугольникам необходимо иметь в виду некоторые особенности. Пластовыми треугольниками можно пользоваться только в тех случаях, когда угол падения слоев круче наклона поверхности рельефа. Если угол падения слоев окажется меньше угла наклона поверхности рельефа, то вершина угла, образованного изгибом слоя, направленная в сторону падения слоя, будет расположена не в долине, а на водоразделе, так как линия выхода слоя в долине окажется выше, чем линия его выхода на водоразделе.

Если не учитывать эту особенность, можно ошибочно принять направление вершины угла в долине за направление падения слоя.

Резкий расчлененный рельеф создает благоприятные условия для определения элементов залегания пород. При плавных во-



с. 15. Формы пластовых треугольников в зависимости от угла падения слоев и строения рельефа (по В. П. Мирошниченко)
 а — пластовые треугольники; б — пластовые трапеции; в — пластовые полуовалы



Рис. 16. Изменение формы пластовых треугольников в зависимости от угла падения слоев
 а — крутонаклоненные слои; б — пологонаклоненные слои

доразделах, широких долинах и небольших превышениях рельефа пластовые треугольники обычно широкие (рис. 15).

При расчлененном крутом рельефе они частые, с резкими изгибами. Выходы слоев на поверхность в таких условиях имеют вид непрерывных зигзагов.

При пологом залегании слоев пластовые треугольники вытягиваются, а угол, указывающий направление падения, становится острым. С увеличением наклона слоев этот угол увеличивается и при крутом залегании он превращается в тупой (рис. 16). При вертикальном залегании выходы слоев образуют на снимках линии, не связанные с элементами строения рельефа, и обусловлены изменениями их простирания.

При расчлененном рельефе не следует путать пластовые треугольники с изгибами слоев, свойственными горизонтальному залеганию.

При выровненном плоском рельефе слоистость в наклонно залегающих толщах передается на аэроснимках в виде линий, форма которых будет полностью зависеть от направления простирания пород. В таких случаях направление падения определяется в соответствии с общим правилом: при нормальном наклонном залегании слои падают в сторону расположения более молодых отложений.

Графоаналитический способ измерения элементов залегания и мощностей пластов

Элементы залегания в слоистых толщах горных пород определяют по значениям параллаксов точек пластовых треугольников, стереоскопически измеренных на аэроснимках. Существуют различные способы стереофотограмметрического определения элементов залегания, рассчитанные на использование разных приборов.

Графоаналитический способ — наиболее простой, осуществляемый с помощью любого стереоприбора, в частности, с помощью стереоскопа с параллаксометром. Однако он уступает другим способам по точности и производительности. Его использование целесообразно в следующих случаях:

1) в полевых условиях, на базе геологической партии или отряда, если туда нецелесообразно транспортировать геологический стереометр ГС-4; в этом случае измерения ведутся на стереоскопе ЗС с параллаксометром;

2) для измерения по крупноформатным или увеличенным аэроснимкам; такие снимки непригодны для измерения на ГС-4 и прецизионных стереоприборах, но могут измеряться на стереопантометре или стереоскопе ЗС с параллаксометром;

3) при дешифрировании на стереомикрометре;

4) при отсутствии геологического стереометра ГС-4; в этом случае измерения можно вести на топографических стереомет-

рах СТД-2 или СТД-1, на стереопантометре или на измерительном стереоскопе.

Элементы залегания полого падающих пластов с углами падения менее $10\text{--}15^\circ$ можно измерять графоаналитическим способом только по гиросtabilизированным аэроснимкам.

В зависимости от используемого стереоприбора графоаналитический способ несколько видоизменяется. Ниже рассмотрим его подробно применительно к топографическому стереометру с отключенными корректорами, а далее кратко укажем особенности, возникающие при работе на других стереоприборах.

Для определения элементов залегания и мощностей пластов* должны быть известны параметры аэрофотосъемки: масштаб аэроснимков M и фокусное расстояние аэрофотоаппарата f . Желательно также знать, производилась ли аэросъемка с гиросtabilизацией или без нее, так как от этого зависит получаемая точность.

Элементы залегания пластов, контактов, разрывных нарушений и других геологических объектов могут определяться при наличии на стереопаре аэроснимков фотоизображения выхода этих объектов на поверхность Земли, причем хотя бы на одном из аэроснимков этот выход должен быть непрямолинейным (образовывать пластовый треугольник).

Точность измерения угла и азимута падения зависит от размера изображения пластового треугольника на аэроснимке, именно от размера наименьшей высоты s этого треугольника (т. е. от наименьшего расстояния между вершиной треугольника и его противоположной стороной). При $s=3$ мм угол падения α измеряется с ошибкой $3\text{--}5^\circ$, причем в отдельных случаях она может достигать 10° . С увеличением s точность существенно возрастает (примерно пропорционально s) только при обработке гиросtabilизированных снимков. В этом случае при $s=10$ мм ошибка не превосходит $1\text{--}2^\circ$. Вследствие этого графоаналитический способ используется в основном применительно к снимкам, полученным с гиросtabilизацией. По аэроснимкам с большими углами наклона, характерными для аэросъемки без гиросtabilизации, измерять полого падающие пласты ($\alpha \leq 10\text{--}15^\circ$) этим способом нельзя.

Для измерений следует выбирать пластовые треугольники с наибольшими значениями s , т. е. большие по размеру и наименее «сплюснутые». При отсутствии на аэроснимках треугольников с $s_1 \geq 1,5 \div 2$ мм (что бывает в случае крутого падения пластов или разрывных нарушений) точность можно увеличить, определяя элементы залегания по нескольким треугольникам. При $s < 0,5$ мм измерения нецелесообразны. Параллаксы стереомодели измеряют с точностью $0,03\text{--}0,05$ мм, а

* Под мощностью всюду понимается истинная мощность.

графические операции производят с точностью 0,2 мм. Увеличение этих погрешностей ухудшает результат.

Мощность пласта определяется после измерения его элементов залегания при наличии на стереопаре изображения выходов кровли и подошвы пласта. Точность измерения мощности пласта зависит от β , α , расстояния между использованными точками кровли и подошвы d и разности параллаксов этих точек Δp .

Точность определения мощности пласта зависит также от постоянства элементов залегания пласта, ошибки определения этих элементов и от расстояния на аэроснимке между местом определения мощности и пластовым треугольником, по которому получены элементы залегания. Вследствие этого точки для определения мощности пласта следует выбирать возможно ближе к пластовому треугольнику, в частности, использовать вершины треугольников. Точность падает с увеличением расстояния между выбранными точками кровли и подошвы пласта, а для крутопадающих пластов с увеличением разности параллаксов (т. е. превышения) между этими точками. Поэтому при положении падения пласта точки следует выбирать примерно на одном перпендикуляре к линиям выхода кровли и подошвы пласта и в тех местах, где полоса, изображающая выход пласта, наиболее узкая. Мощность крутопадающих пластов следует, наоборот, определить по точкам, имеющим возможно меньшее превышение, даже если расстояние между ними при этом возрастает.

Если видимая на аэроснимке ширина выхода пласта (т. е. расстояние d) велика по сравнению с размером треугольника s и горизонты, ограничивающие пласт, не плоские, а слабо изогнутые, то измерение мощности с использованием элементов залегания только одного из горизонтов может привести к большим ошибкам. Их можно практически полностью исключить, если определить элементы залегания обоих горизонтов и использовать их усредненные значения (т. е. их полусумму). При этом в качестве точки для измерения мощности на каждом горизонте нужно брать одну из вершин того пластового треугольника, по которому определены элементы залегания этого горизонта. При большой ширине выхода пласта целесообразно всегда использовать усредненные значения элементов залегания.

Фотограмметрические основы определения элементов залегания. Пусть точки пласта 1 , 2 и 3 не лежат на одной прямой, т. е. образуют пластовый треугольник, причем 1 — нижняя, а 3 — верхняя точка этого треугольника (рис. 17). Обозначим через $2'$ и $3'$ проекции вершин 2 и 3 пластового треугольника на горизонтальную плоскость местности, проходящую через вершину 1 , и продолжим прямые $3-2$ и $3'-2'$ до их пересечения в точке 4 , лежащей на линии простирания пласта $1-4$. Через прямую $3-3'$ проведем вертикальную плоскость $3-3'-5$, перпендикулярную к линии простирания. Превышение точки 3

над точкой I , равное отрезку $\overline{3-3'}$, обозначим через h_{31} , а длину $\overline{3'-5}$ горизонтального проложения линии падения $3-5$ через L . Угол между линией падения и ее горизонтальной проекцией — угол падения α . Следовательно,

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h_{31}}{L}. \quad (25)$$

Пусть рис. 18 изображает один из снимков стереопары, по которой требуется измерить элементы залегания рассматриваемого пласта. Точка O — центр этого аэроснимка, треугольник $1-2-3$ соответствует пластовому треугольнику местности, обозначенному на рис. 17 теми же номерами. Введя в положение точек 2 и 3 аэроснимка поправки за рельеф (см. главу II) относительно уровня точки I , получим их исправленные положения $2'$ и $3'$, которые также соответствуют точкам $2'$ и $3'$ местности. Поскольку прямым местности отвечают прямые на аэроснимке, точку 4 снимка можно получить как точку пересечения прямых $3-2$ и $3'-2'$, а вследствие равенства горизонтальных углов на снимке и местности точка 5 является основанием перпендикуляра, опущенного из точки $3'$ на прямую $1-4$. Направление этого перпендикуляра — направление падения пласта, а его длина l — изображение длины L в масштабе аэросъемки $1:m_1$, относящемся к уровню точки I местности.

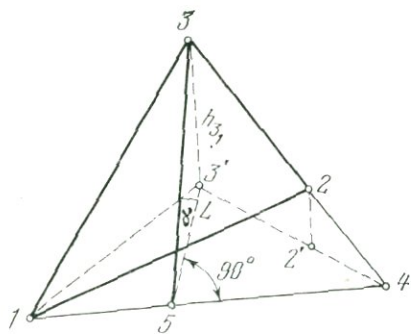


Рис. 17. Пластовый треугольник на местности

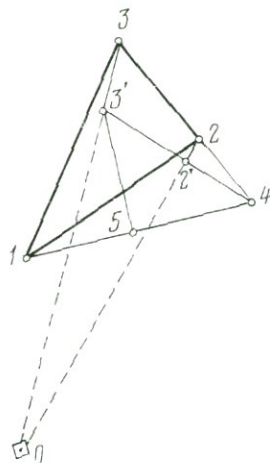


Рис. 18. Пластовый треугольник на аэроснимке

Выразим значения L и h_{31} , входящие в формулу (25) через величины, измеряемые на аэроснимках. Длина горизонтального отрезка местности L вычисляется по длине его изображения l с помощью формулы (11):

$$L = 10^{-3} m_1 l. \quad (26)$$

Превышение h_{31} можно определить на основе стереофото-

грамметрического измерения параллаксов точек 3 и $1-p_3$ и p_1 и их разности Δp_{31} . Именно согласно формуле превышений (21)

$$h_{31} = 10^{-3} m_f \frac{\Delta p_{31}}{p} \quad (27)$$

Подставляя (26) и (27) в (25), получим формулу для стереофотограмметрического определения угла падения пласта:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{f \Delta p_{31}}{l p_3} \quad (28)$$

Фотограмметрические основы определения мощности пласта.

Пусть имеется стереопара аэроснимков с изображением выходов кровли и подошвы пласта, элементы залегания которого α и A уже известны. Отметим на одном из снимков стереопары точку 1 подошвы и точку 2 кровли пласта и, введя поправку за рельеф, построим точку $2'$, соответствующую проекции точки 2 на горизонтальную плоскость местности, проходящую через точку 1 . На рис. 19 приведена блок-диаграмма, включающая точки $1, 2$ и $2'$ местности. На этом рисунке $1-3'-2'$ — горизонтальная плоскость; $1-3''-2''$ — подошва рассматриваемого пласта; $3''-1$ — его линия падения; α — угол падения; 2 — точ-

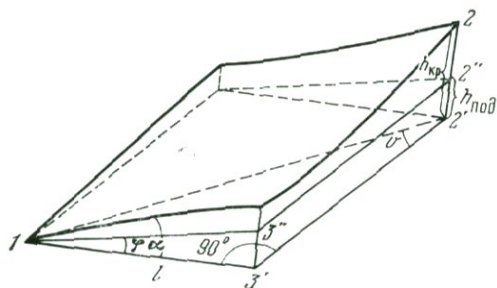


Рис. 19. Блок-диаграмма выхода пласта

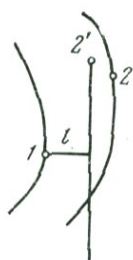


Рис. 20. Контур выхода пласта на аэроснимке

ка кровли пласта; $h_{\text{под}} = \overline{2'-2''} = \overline{3'-3''}$ и $h_{\text{кр}} = \overline{2'-2}$ — превышения точек подошвы и кровли пласта, находящиеся на одной вертикали с точкой $2'$, над плоскостью $1-3'-2'$; $L = \overline{1-3'}$ — расстояние от прямой $2'-3'$, проведенной через точку $2'$ в направлении простирания пласта, до точки 1 . Вертикальная мощность пласта $\overline{2''-2} = h_{\text{кр}} - h_{\text{под}}$, а истинная мощность μ — проекции вертикальной мощности на направление, перпендикулярное к плоскости пласта:

$$\mu = (h_{\text{кр}} - h_{\text{под}}) \cos \alpha \quad (29)$$

Выразим значения $h_{\text{кр}}$ и $h_{\text{под}}$, входящие в эту формулу, через величины, измеряемые по стереопаре. По формуле превышений

$$h_{кр} = 10^{-3} m_1 f \frac{\Delta p_{21}}{\rho_2}, \quad (30)$$

а согласно рис. 19

$$h_{под} = \overline{3' - 3''} = L \operatorname{tg} \alpha = 10^{-3} m_1 l \operatorname{tg} \alpha, \quad (31)$$

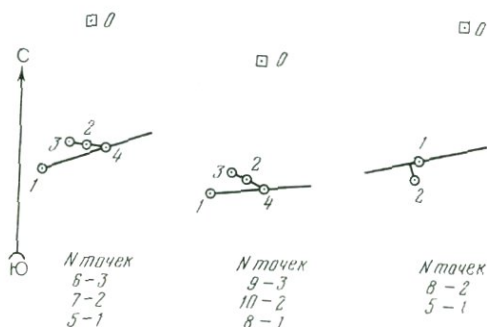
где l — расстояние на аэроснимке (рис. 20) от точки l до прямой проведенной в направлении простирания пласта через точку $2'$.

Подставляя (30) и (31) в (29), получим

$$\mu = 10^{-3} m_1 f \left(\frac{\Delta p_{21}}{\rho_2} \cos \alpha \pm \frac{l}{f} \sin \alpha \right). \quad (32)$$

Двойной знак в этой формуле поставлен, чтобы учесть как случай, представленный на чертеже (нижний знак), так и случай, когда точка l находится не в направлении падения пласта от прямой $2' - 3'$, а в противоположном направлении. Поскольку угол и азимут падения известны, выбор знака не представляет трудностей. Заметим, что величина $h_{кр}$ также может быть и положительной, и отрицательной, но это автоматически учитывается знаком Δp_{21} .

Методика определения элементов залегания и мощностей пластов. Под стереоскопом в соответствии с указанными выше



образец которого приведен в табл. 6. В качестве примера в него вписаны данные определения элементов залегания двух маркирующих горизонтов и мощности толщи, лежащей между этими горизонтами. На рис. 21 приведена копия калек с графическими построениями, соответствующими этому примеру. Для большей ясности на этом рисунке выкопировка каждого пластового треугольника и точек для определения мощности сделаны отдельно, вследствие чего каждой из них соответствует свое положение центра аэроснимка O . Направление на север общее для всего рисунка. В начале работы на графике имеется лишь это направление, вершины всех пластовых треугольников и точки, выбранные для определения мощности.

После изготовления такого графика производятся ориентирования стереопары в приборе и стереоизмерения на вершинах всех пластовых треугольников, т. е. (см. главу III) стереонаведения марки прибора на эти точки с записью отсчетов P по параллактическому винту (табл. 7). После выполнения стереоизмерений ясно, которая из вершин треугольника расположена выше, а которая ниже остальных (они имеют соответственно наибольшее и наименьшее значение P). Это позволяет пронумеровать вершины каждого из треугольников номерами 1, 2 и 3 в порядке возрастания их уровня на местности (изменение нумерации показано в графах 4 и 5 табл. 7) и записать средние значения отсчетов (графа 6) уже в порядке его убывания. Далее для каждого треугольника вычисляют разности параллаксов Δp_{32} и Δp_{31} (графа 7) и переходят к определению точки 4, позволяющей построить на графике линию простирания. Поскольку прямые $3-2$ и $3'-2'$, использовавшиеся для этой цели при изложении теории способа, могут пересекаться под малым углом, т. е. определять положение точки 4 с большой ошибкой, практически точку 4 строят, откладывая на графике (см. рис. 21) вдоль прямой $3-2$ от точки 3 в сторону точки 2 отрезок

$$\overline{3-4} = \overline{3-2} \frac{\Delta p_{31}}{\Delta p_{32}} \quad (33)$$

(вывод этой формулы приводить не будем). С этой целью сначала измеряют по графику отрезок $\overline{3-2}$, затем вычисляют по формуле (33) длину $\overline{3-4}$ (графа 8) и, наконец, откладывают эту длину на графике, отмечают точку 4 и проводят линию простирания $1-4$. Таким образом, введения поправки за рельеф в точку 2 не требуется. Поправка в точку 3 вводится, но для сокращения числа графических построений, снижающих точность метода, это целесообразно делать чисто аналитически, не отмечая положения точки $3'$ на графике. В этом случае (см. рис. 18) вместо отрезка $\overline{3'-5}$ по графику измеряется расстояние l от точки 3 до прямой $1-4$ (графа 9), а затем в формулу (28) вводится поправка Δl , компенсирующая сделанную ошиб-

Формуляр определения элементов залегания и мощностей пластов

Рабочие формулы: $\overline{3-4} = \overline{3-2} \frac{\Delta p_{3-1}}{\Delta p_{3-2}}$; $\operatorname{ctg} \alpha = \left(\frac{p_1 l}{\Delta p_{3-1}} \pm r' \right) \frac{1}{f}$; $\mu' = \frac{\Delta p_{2-1}}{p_1} f \cos \alpha_{\text{ср}} \pm \left(l \pm \frac{\Delta p_{2-1}}{p_1} r' \right) \sin \alpha_{\text{ср}}$.

Фильм и стереопара: К-24-575-576; $f=100$ мм; $M=1:60\,000$; $\mu=60 |\mu'|$.

	№ точек измерения	P	№ точек измерения	№ точек в треугольнике	$P_{\text{ср}}$	$\frac{\Delta p_{3-2}}{\Delta p_{3-1}}$	$\frac{\overline{3-2}}{\overline{3-4}}$	l	$\frac{r'}{f \operatorname{ctg} \alpha}$	$\operatorname{ctg} \alpha$ α
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Горизонт I	5	55,84 90 55,83 87	6	3	58,93				25,2	0,907
	6	58,90 91 58,94 97	7	2	57,54	1,39	3,5	3,6	65,5	
Горизонт II	7	57,50 54 57,55 56	5	1	55,86	3,07	7,7			90,7
	8	57,07 04 57,03 06	9	3	59,93				26,0	1,012
	9	59,90 91 59,94 96	10	2	58,72	1,21	3,3	3,8	75,2	
	10	58,75 70 58,71 72	8	1	57,05	2,88	7,8		101,2	45°

Продолжение табл. 7

	A' A	№ точек измерения	№ точек на подошве (1) и кровле (2) пласта	P	$P_{\text{ср}}$	$\frac{\Delta p_{2-1}}{\Delta p_{2-1}:p_1}$ r'	l $r' \Delta p_{2-1}:p'$ $l \pm r' \Delta p_{2-1}:p_1$	$\alpha_{\text{ср}}$ $\cos \alpha_{\text{ср}}$ $\sin \alpha_{\text{ср}}$ $A'_{\text{ср}}$	$f \cos \alpha_{\text{ср}} \frac{\Delta p_{2-1}:p_1}{\Delta p_{2-1}:p_1} \times \sin \alpha_{\text{ср}}$ μ' μ		
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Горизонт I	71°	5	2		55,86	-1,19	3,6	46,5°	-1,43		
Горизонт II	161°	8	1		57,05	-0,020	-0,51	0,688	+2,98		
	84°					24,8	4,11			0,725	+1,55
	174°									78°	93 м

ку. Найдем ее значение. Согласно формулам (5) и (17) поправку за рельеф $\Delta r_3 = \overline{Z-Z'}$ можно представить в виде

$$\Delta r_3 = r_3 \frac{h_{31}}{H_1} = r_3 \frac{\Delta p_{31}}{p_3}, \quad (34)$$

где H_1 — высота фотографирования над точкой I ;

r_3 — расстояние от центра аэроснимка O до точки Z .

Из рис. 18 видно, что искомая поправка Δl равна проекции Δr_3 на направление падения пласта. Следовательно, обозначив проекцию r_3 на этом же направлении через r'_3 , получим из (34):

$$\Delta l = r'_3 \frac{\Delta p_{31}}{p_3}. \quad (35)$$

С учетом поправки Δl удобнее вычислять не $\text{tg } \alpha$, а $\text{ctg } \alpha$. Соответствующую формулу получим, подставив (35) в (28):

$$\text{ctg } \alpha = \frac{p_3}{f \Delta p_{31}} (l \pm \Delta l) = \left(\frac{p_3 l}{\Delta p_{31}} \pm r'_3 \right) \frac{1}{f}.$$

Входящая в эту формулу длина l измеряется непосредственно по графику (см. рис. 21) как расстояние от точки Z до линии простирания $I-4$. Величину r'_3 заменим расстоянием r^1 от центра снимка O до этой же линии простирания, так как r^1 измеряется проще, чем r_3 . Можно показать, что эта замена полностью компенсируется, если параллакс p_3 также заменить на p_1 . Сделав это, получаем окончательную рабочую формулу

$$\text{ctg } \alpha = \left(\frac{p_1 l}{\Delta p_{31}} \pm r^1 \right) \frac{1}{f}. \quad (36)$$

В этой формуле берется верхний знак (плюс), если центр снимка и точка Z лежат с одной стороны от линии простирания $I-4$, как это и происходит в примере (см. рис. 21). В противоположном случае берется нижний знак. Значение $\text{ctg } \alpha$, вычисленное по формуле (36), может оказаться и отрицательным, но угол α следует брать по его абсолютной величине. В формуляре предполагается, что место нуля параллактического винта стереоприбора устранено, т. е. что $p_1 = P_1$. Если это не так, то параллакс p_1 вычисляются по формуле

$$p_1 = P_1 + b_n - P_0, \quad (37)$$

где b_n — базис на правом снимке стереопары;

P_0 — отсчет параллактического винта при наведении на центр левого снимка.

Азимут падения пласта A во избежание излишних графических построений целесообразно вычислять по азимуту простирания A' , который измеряется на графике (см. рис. 21) как угол

от направления на север, до линии простирания пласта 1—4 (по часовой стрелке):

$$A = A' \pm 90^\circ. \quad (38)$$

В этой формуле берется знак плюс, когда $\text{ctg } \alpha > 0$ и точка 3 лежит внутри угла A' или когда $\text{ctg } \alpha < 0$ и точка 3 лежит вне этого угла, в остальных случаях — знак минус. Значения A' и A заносят в графу 12.

В графу 13 формуляра записывают номера точек, выбранных для определения мощности пласта. В графе 14 этим же точкам придают номера 1 и 2, причем первой считается точка, лежащая на подошве, второй — на кровле пласта. Если заранее неизвестно, какой треугольник относится к подошве, какой к кровле, нумерация графы 14 произвольна. Элементы залегания подошвы и кровли пласта α_1, A_1 и α_2, A_2 определяют до измерения мощности. В графу 19 заносят их средние значения:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= 0,5 (\alpha_1 + \alpha_2), \\ A_{\text{ср}} &= 0,5 (A_1 + A_2). \end{aligned} \right\} \quad (39)$$

Для точек 1 и 2, не являющихся вершинами пластовых треугольников, измеряют продольные параллаксы и вычисляют их среднее значение $p_{\text{ср}}$. Для точек, являющихся вершинами пластовых треугольников, $p_{\text{ср}}$ переносят из графы 6 в графу 16.

На графике определения мощности (см. рис. 21, справа) через точку 1 проводят среднюю линию простирания обоих горизонтов, т. е. прямую, образующую угол $A'_{\text{ср}}$ с направлением на север. От нее измеряют расстояние l до точки 2 и расстояние r' до центра снимка. Мощность μ' (в миллиметрах) в масштабе снимка вычисляют по рабочей формуле

$$\mu' = \frac{\Delta p_{21}}{p_1} f \cos \alpha_{\text{ср}} \pm \left(l \pm \frac{\Delta p_{21}}{p_1} r' \right) \sin \alpha_{\text{ср}}, \quad (40)$$

получаемой из формулы (32) так же, как рабочая формула (36) была получена из формулы (28). Порядок записи вычислений ясен из формуляра.

В формуле (40) в скобках знак плюс, если центр и точка 2 расположены по одну сторону от линии простирания, и минус в противном случае. Перед скобкой знак минус, если направление от точки 2 к линии простирания совпадает с направлением падения пласта, и знак плюс, если оно совпадает с направлением восстания. Получение отрицательной мощности означает, что первоначальное представление о том, какой из горизонтов является подошвой и какой — кровлей пласта, неправильно, т. е. что нумерация точек в графе 14 формуляра ошибочна. Однако эта ошибка лишь влияет на суждение о структуре участка и не препятствует правильному определению мощности.

Мощность пласта в натуре μ (в метрах) вычисляют умножением абсолютной величины μ' на $1/1000$ знаменателя масштаба аэрофотосъемки и записывают в графе 20. Если превышения в пределах снимка значительны, то вместо среднего масштаба аэросъемки следует брать масштаб изображения горизонтальной плоскости, проходящей через точку I . Определение элементов залегания разрывных нарушений, контактов и т. д. выполняется так же, как и для пластов.

Особенности, возникающие при использовании разных стереоприборов

Стереопантометр. Определение элементов залегания и мощностей пластов на стереопантометре отличается от работы на топографическом стереометре упрощением построения графика. Пластовые треугольники и точки для определения мощностей пластов выбирают после ориентирования стереопары в приборе (ориентирование — по начальным направлениям). Положение каждой точки отмечают на листе ватмана, закрепленном на рисовальном столе прибора, опусканием наковки чертежного устройства при стереоскопическом наведении марки параллаксометра на эту точку. Таким образом, нанесение всех точек на аэроснимок и перенос их на кальку отпадают (стереоскопическое наведение нужно и для измерения параллакса точки и производится на каждом из приборов). Поскольку на планшете стереопантометра положение точек идентично их положению на левом снимке стереопары, для измерения r' на планшет наносят левый центр.

Стереомикрометр. На стереомикрометре работа еще более упрощается. График, как и в предыдущем случае, получается на планшете прибора, но величина r' вводится при этом автоматически, так что в формулах надо считать $r' = 0$. На этом приборе измеряют не разности параллаксов, а величины Δf , по которым вычисляют превышения h в масштабе карты. Поэтому в приведенных формулах Δp заменяют на h , а $\Delta p : p$ на $h : f$. Формулы (36) и (40) принимают вид

$$\operatorname{ctg} \alpha = l : h, \quad (41)$$

$$\mu' = h \cos \alpha \pm l \sin \alpha. \quad (42)$$

Геологический стереометр ГС-2 — модифицированный топографический стереометр СТД-2, предназначенный для измерительного дешифрирования в геологических целях. Внешний вид прибора практически тот же, что и у СТД-2. У ГС-2 сохранено только две из шести коррекций СТД-2, но диапазон действия оставшихся корректоров увеличен и они предназначены не для компенсации углов наклона аэроснимков, а для совмещения пространственной марки (нити) прибора с плоскостью пласта.

Подготовка и установка снимков в приборе производится

так же, как на топографическом стереометре. Затем для измерения каждого пластового треугольника выполняется специальное ориентирование: корректоры устанавливаются по точкам пластового треугольника так, чтобы нить была стереоскопически совмещена с каждой из них. После специального ориентирования при движении наблюдательной системы нить перемещается не в горизонтальной плоскости, а в плоскости пласта. С параллактического винта снимают отсчет p , полученный при специальном ориентировании, на кассетах устанавливают отсчетные круги диаметром D и, не трогая корректоров, измеряют параллаксы на концах диаметра круга, в которых нить стереоскопически касается его. Вычислив разность этих параллаксов Δp , определяют угол падения пласта по формуле

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{p_b D}{\Delta p f}, \quad (43)$$

аналогичной формуле (36), а азимут падения снимают с отсчетного круга. Таким образом, в ГС-2 измерение параллаксов и графическое построение заменяются специальным ориентированием. Поэтому определение элементов залегания на ГС-2 занимает в среднем такое же время, как и на СТД.

Наведение нити на точки пластового треугольника при $\alpha \geq 15 \div 20^\circ$ обычно приходится осуществлять монокулярно, что снижает точность. С другой стороны, освобождение от графических операций повышает ее. В результате точность определения α и A на ГС-2 на $10 \div 20\%$ выше точности их определения на СТД при измерении по аэроснимкам, снятым АФА с $f \leq 100$ мм, и примерно на столько же ниже точности СТД при использовании снимков с $f > 100$ мм. Это касается пластов с углом падения $\alpha > 15^\circ$. При $\alpha \leq 15^\circ$ точности одинаковы и элементы залегания можно измерять только по гиросtabilизированным снимкам. Отключив (т. е. установив на нули) корректоры ГС-2, можно определять на нем элементы залегания как на СТД, т. е. графо-аналитическим способом. При $\alpha > 60 \div 70^\circ$ это нужно делать обязательно, так как корректоры ГС-2 при таких углах падения не работают.

Для определения мощности пласта производят специальное ориентирование по пластовому треугольнику подошвы (кровли) этого пласта и снимают отсчет параллактического винта p . Затем, не сбивая коррекций, заводят нить на точку кровли (подошвы) и снимают новый отсчет p'_b . Мощность пласта μ' (в миллиметрах) в масштабе аэроснимка определяется формулой

$$\mu' = f \frac{p_b - p'_b}{p_b} \cos \alpha. \quad (44)$$

Из изложенного следует, что геологический стереометр ГС-2

не имеет заметных преимуществ перед топографическим стереометром. Сейчас он снят с производства, а вместо него создан значительно более совершенный прибор ГС-4.

Измерение элементов залегания и мощностей пластов на геологическом стереометре ГС-4

ГС-4 (см. рис. 10), как и ГС-2, сконструирован на базе топографического стереометра СТД-2 и предназначен для измерительного дешифрирования в геологических целях. Он позволяет определять элементы залегания и мощности пластов с высокой точностью и независимо от угла падения, а также измерять превышения точек, свободные от влияния наклона аэроснимков. Для осуществления этих процессов прибор может работать и как стереокомпаратор, т. е. позволяет измерять координаты и поперечные параллаксы точек и вычислять элементы взаимного ориентирования снимков стереопары.

Конструктивно прибор состоит из стандартного стереометра СТД-2 и насадки, скрепленной с его наблюдательной системой, в которую можно вставлять устройство для измерения элементов залегания или точечные марки для определения элементов взаимного ориентирования (ЭВО). Добавлена также шкала ординат и винт поперечных параллаксов. Стереометр СТД-2 можно преобразовать в ГС-4, если установить на нем эти дополнительные детали.

Измерение элементов залегания крутопадающих пластов (измерение без использования корректоров). Эта работа выполняется по принципу и формулам графоаналитического способа, однако угловые и линейные измерения по графику заменены отсчетами по измерительному устройству прибора. Оно состоит из лимба с делениями через 30 мин и стеклянного круга с взаимно перпендикулярными штрихами-диаметрами, вращающегося в лимбе. Вдоль одного из штрихов расположена шкала с делениями через 0,5 мм. Устройство устанавливается над левой кассетой и перемещается относительно стереомодели вместе с наблюдательной системой прибора.

Перед измерениями корректоры ГС-4 устанавливают на места нулей, измерительное устройство снимают с насадки. Снимки подготавливают, устанавливают в приборе и ориентируют по начальным направлениям. Измеряют параллаксы p намеченных точек и вычисляют разности параллаксов Δp . Все эти операции делают так же, как на СТД-2 при графоаналитическом способе, однако вершины пластовых треугольников нужно наносить не на любой, а на левый снимок стереопары. Затем устанавливают измерительное устройство, совмещают его штрих, имеющий шкалу, с одной из сторон пластового треугольника и измеряют по шкале ее длину. По формуле, анало-

гичной (33), находят на этой стороне точку, лежащую на одной линии простирания с противоположной вершиной треугольника, сдвигают центр круга в эту точку, направляют штрих без шкалы по линии простирания и, сдвигая круг вдоль нее до совпадения штриха, имеющего шкалу, с вершиной треугольника, лежащей на линии простирания, отсчитывают расстояние l от линии простирания до этой вершины. После этого угол падения пласта вычисляют по формуле (36), а азимут падения — по шкале лимба. Для измерения величины r' предусмотрена отдельная палетка.

Измерение элементов залегания пологопадающих пластов (измерение с использованием корректоров). Как уже говорилось, измерение элементов залегания при угле падения менее $10-15^\circ$ требует учета влияния наклона снимков и базиса, т. е. элементов внешнего ориентирования снимков стереопары. Корректоры СТД-2 и ГС-4 позволяют учесть их, однако для этого нужно знать элементы взаимного ориентирования снимков, т. е. их взаимные углы наклона вдоль и поперек маршрута $\Delta\alpha_x$ и $\Delta\omega$, а также истинные высоты четырех или шести стандартно расположенных точек стереопары. При использовании СТД-2 для составления топокарт ЭВО измеряют заранее на стереокомпараторе или прецизионном стереомере, а высоты стандартных точек определяют или в поле, или стереофотограмметрическим способом на этих же прецизионных стереоприборах. В геологических организациях, как правило, нет ни приборов типа стереокомпаратора, ни возможности полевой высотной привязки аэроснимков и СТД-2 приходится использовать без корректоров, просто как измерительный стереоскоп. Это и предполагалось в предыдущем разделе.

У ГС-4 имеются шкала ординат, винт поперечных параллаксов и съемные точечные марки. Это позволяет использовать его как стереокомпаратор. Высоты стандартных точек иногда можно снять с топокарты масштаба $1:25\,000$. Это просто сделать в равнинной и богатой контурами местности. При работе со снимками горных участков опознать на топокарте стандартные точки (имеющие строго определенное расположение на стереопаре) обычно не удается. Поэтому ГС-4 рекомендуется использовать совместно с радиал-пантографом РП-2. В этом случае стандартные точки наносят на правый снимок, стереопару и топооснову закладывают в РП-2, переносят их положение на топокарту и снимают с нее высотные отметки.

После определения ЭВО и значений высот стандартных точек производится так называемое «ориентирование по стандартным точкам», т. е. установка корректоров ГС-4, компенсирующая влияние наклона снимков и базиса. Методика определения ЭВО и ориентирования по стандартным точкам изложена в инструкции, прилагаемой к ГС-4. После установки корректоров

определение элементов залегания выполняется так же, как и для крутопадающих пластов.

Необходимость использования коррекций определяется не только крутизной пластов. Она зависит и от требуемой точности, а также от того, выполнялась ли аэросъемка с гиростабилизацией или без нее.

Измерение мощности пластов. Для измерения мощности пласта нужно предварительно определить его элементы залегания. И то и другое можно делать без использования корректоров, так как наклон аэроснимков не влияет на величину мощности. Однако если элементы залегания определялись с использованием коррекций, то их нужно использовать и при измерении мощности, иначе результат может быть ошибочным. Мощность μ' в масштабе аэроснимка определяют по формуле (40). Величину l , входящую в эту формулу, измеряют по кругу ГС-4. Для этого круг разворачивают так, чтобы отсчет по лимбу (на штрихе со шкалой) был бы равен отсчету направления падения пласта и сдвигают до тех пор, пока штрих без шкалы не пройдет через точку 1 рис. 20, а штрих, имеющий шкалу, через точку 2. Длина l равна отсчету по шкале в точке 2, снятому в этом положении круга. Величину r' измеряют специальной палеткой так же, как и при определении элементов залегания. Выбор точек 1 и 2, определение величин, входящих в формулу мощности и переход к мощности μ в натуре производятся точно так же, как и при графоаналитическом способе.

Основные источники ошибок при работе на ГС-4 с использованием корректоров — деформация фотобумаги и неточность нанесения измеряемых точек на аэроснимок. В случаях, когда точность ГС-4 недостаточна, элементы залегания и мощности пластов можно определять аналитическим способом на прецизионных стереофотограмметрических приборах. Эту работу целесообразно производить только в специализированных предприятиях ГУГК и других ведомств.

Глава VI

ДЕШИФРИРОВАНИЕ СКЛАДЧАТЫХ ФОРМ ЗАЛЕГАНИЯ И РАЗРЫВОВ

При дешифрировании складчатых структур необходимо проявлять большую осторожность. Нередки случаи отчетливого изображения складок на аэроснимках, но столь же часты случаи, в которых расшифровка условий залегания слоистых толщ, даже четко видимых на снимках, сильно затруднена.

Основное значение для дешифрирования складок имеют пластовые треугольники, а также особенности литологического

состава и замыкания складок. Каждый из указанных признаков может служить основанием для дешифрирования складчатых форм залегания, однако нередко приходится использовать все три признака. Большое значение при этом имеет изучение геоморфологических особенностей рельефа (рис. 22).

Строение складок с наклоном крыльев в разные стороны от ее оси можно выявить по пластовым треугольникам, которые в антиклинальных структурах своими вершинами направлены в противоположные стороны, а в синклиналиях — навстречу друг другу (рис. 23, 25). В асимметричных складках форма пластовых треугольников на крыльях неодинакова: на пологом крыле пластовые треугольники более острые, чем на крутом, и они совершенно исчезают при вертикальном залегании крыла (рис. 24).

В опрокинутых складках вершины пластовых треугольников на обоих крыльях направлены в одну и ту же сторону и для выявления таких складок необходимо привлечь другие дешифровочные признаки. Среди последних решающее значение могут иметь периклиналильные и центриклиналильные замыкания складок (рис. 23, в), позволяющие не только выявить складча-

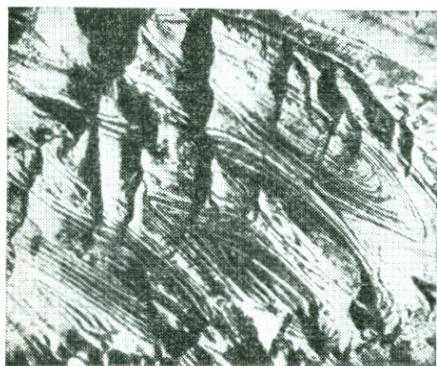


Рис. 22. Синклиналильные и антиклинальные складки

тое залегание, но и установить положение оси складки, а также направление погружения шарнира (рис. 26).

При выровненном рельефе, однообразном составе пород и изоклиналильных складках их замыкания могут явиться единственным надежным признаком дешифрирования складчатых форм залегания.

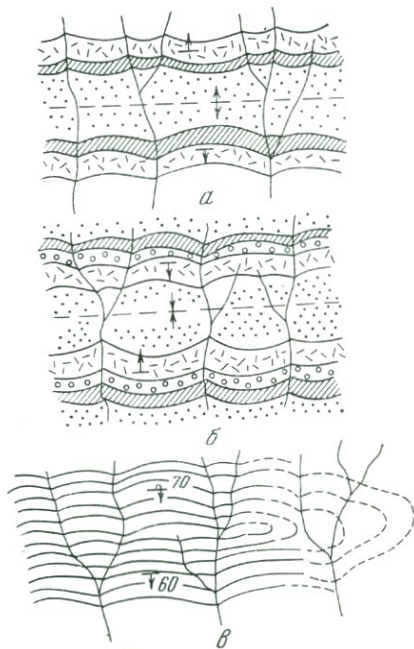


Рис. 23. Антиклинальная (а) и синклиналиная (б) складки, отдешифрированные по симметричному расположению пород и по пластовым треугольникам; антиклинальная опрокинутая складка (в), отдешифрированная по периклиналильному замыканию

Симметричное расположение одних и тех же пород относительно осевой линии на эрозионных срезах складки может также служить основанием для дешифрирования складчатых структур. Симметричность выражается в виде чередования слоев или пачек пород с различной окраской, неодинаковой мощностью или отличным выражением микрорельефа. Последний признак особенно надежен в сочетании с тоном изображения.



Рис. 24. Асимметричная антиклинальная складка, погружающаяся на юго-запад, сложенная верхнемеловыми и палеогеновыми отложениями. Северо-западное крыло крутое, юго-восточное — пологое. Копетдаг

Определение элементов залегания и мощностей пород на крыльях складок производят приемами, описанными в главе V.

При дешифрировании разрывов следует привлекать широкий комплекс как прямых, так и косвенных дешифрировочных признаков. По условиям дешифрирования все разрывы, смещающие горные породы, делятся на крутые и пологие. У крутых разрывов основное свойство заключается в их относительной прямолинейности и срезывании поверхностью сместителя слоистости или иных текстурных и структурных признаков на обоих крыльях разрыва (рис. 27). Линии разрывов могут также разграничивать участки с различной окраской пород, различным характером рельефа и другими особенностями строения (рис. 28).

По сравнению со слоистостью крутые и вертикальные сме-

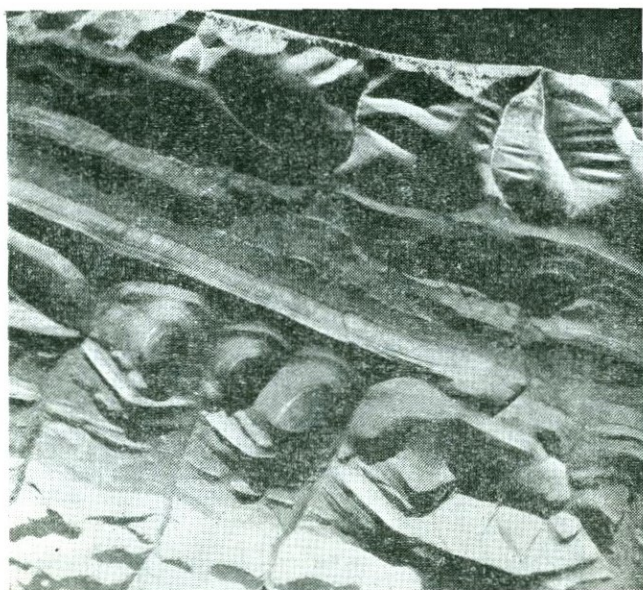


Рис. 25. Синклиальная складка, дешифрирующаяся по пластовым треугольникам. В ядре — отложения триаса и перм, на крыльях — отложения кембрия, Северо-Восточная Сибирь



Рис. 26. Изоклиальные складки в нижнекаменноугольных отложениях Центрального Казахстана, дешифрирующиеся по их замыканиям



Рис. 27. Сброс, нарушающий строение верхнепалеозойских пестроцветных толщ. Центральный Казахстан



Рис. 28. Различия в характере рельефа, обусловленные неодинаковым составом среднепалеозойских пород, слагающих крылья сброса. Каратау

ститители обладают более четко выраженной линейностью и резкими изгибами.

Срезывание слоистости на крыльях разрыва является надежным дешифрировочным признаком, но проявляется оно далеко не всегда. Нередко разрывы развиваются вдоль какого-либо слоя, обладающего повышенной пластичностью, и срезывание слоистости сместителем может наблюдаться лишь на одном из крыльев. Разрывы с таким строением легко спутать с поверхностью несогласия. Нередко разрывы развиваются вдоль слоистости и заметить их очень трудно.

Пологие нарушения чаще других имеют согласную со слоистостью ориентировку. Они, как и последняя, при расчлененном

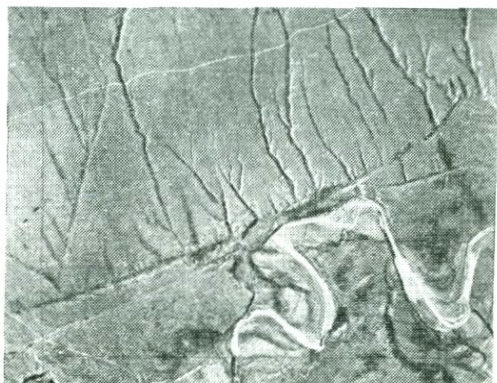


Рис. 29. Спрямоленные русла рек и их боковых притоков, развивающиеся вдоль разрывов в коренных породах. Каратау

рельефе образуют пластовые треугольники, а при залегании, близком к горизонтальному, огибают неровности рельефа.

Основная сложность дешифрирования разрывов заключается в том, что они не всегда оказываются обнаженными. Развивающиеся вдоль сместителя тектонические брекчии, если только они не зацементированы более поздними жилами и дайками магматического или иного происхождения, представляют собой рыхлую, легко разрушающуюся породу, по которой возникают дождевики, овражные и речные долины и иные отрицательные формы рельефа, перекрытые новейшими континентальными образованиями. Общим дешифрировочным признаком необнаженных сместителей является подчеркнутая линейность, соответствующая положению сместителя, выраженная различными элементами рельефа.

Причиной появления отрицательных форм рельефа в местах выхода сместителей разрывов на поверхности могут явиться также соприкосновения пород с различными физическими свой-

ствами, из которых более крепкие создают преграды либо бронированные поверхности, обуславливающие развитие и направление овражной и речной сети или других путей стока и подпруживания поверхностных вод.

Разрывы, расположенные в днищах речных и овражных долин, перекрытые аллювием, могут быть обнаружены по смещению пород (и, в частности, слоистости) на различных склонах, несоответствию геологического строения бортов долин, выпадению из разреза стратиграфических подразделений, интенсивной трещиноватости или насыщенности жильными образованиями на участках пород, примыкающих к предполагаемому положению разрыва.

На вероятное присутствие разрывов может указывать прямолинейность речных долин, их кольцеобразное или коленообразное расположение. Подобный пример приведен на рис. 29. В пустынных и полупустынных областях важным индикатором разрывов могут явиться выходы источников. Даже источники с небольшим дебитом хорошо дешифрируются по окружающим их пятнам густой травянистости или кустарниковой растительности (рис. 30). Нередко источники располагаются на одной прямой или слабо искривленной линии, почти всегда в таких случаях совпадающей с выходами на поверхности или под покровом новейших отложений обводненных разрывов.

Разрывы, возникающие в новейшее время, или молодые подвижки по древним разрывам почти всегда так или иначе отражаются в строении рельефа. Они хорошо дешифрируются по появлению уступов и эскарпов, глубоких борозд, нарушающих рисунок рельефа, по расширению и сужению речных долин, образованию в русле рек водопадов, порогов, озеровидных расширений, появлению конусов выноса и т. д. (рис. 31). Разрывы со сдвиговыми смещениями опознаются по характерным отгибам слоев вблизи поверхности сместителя, которые могут быть ориентированы вдоль разрыва (рис. 32). Новейшие сдвиги нередко удается выявить по горизонтальному смещению современной гидросети.

При достаточно внимательной работе с аэроснимками и другими аэрофотосъемочными материалами большинство разрывов выявляется и прослеживается при предварительном камеральном дешифрировании, часто с такой полнотой, которая совершенно недоступна для обычных наземных наблюдений. Для определения генетического типа разрыва необходимо определение наклона его сместителя и направления перемещения крыльев.

При хорошей обнаженности на аэроснимках могут быть отдешифрированы трещины (рис. 33). Трещины и в особенности кливаж нередко очень сильно маскируют слоистость и создают ложное впечатление о направлении простирания пород. Иногда

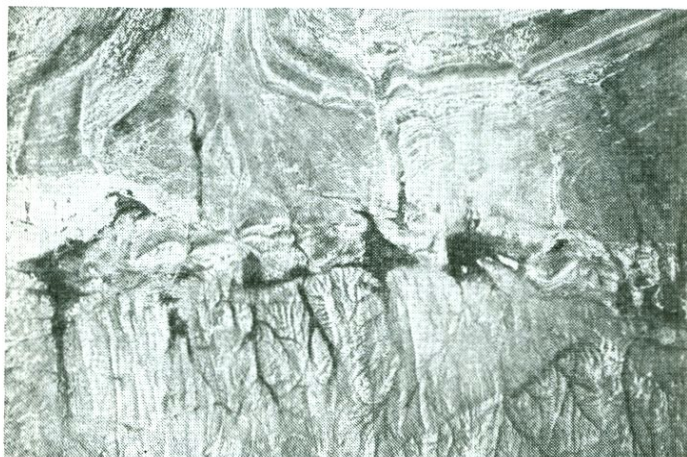


Рис. 30. Разрыв, дешифрирующийся по выходам источников (черные пятна), расположенных на одной линии, и срезыванию слоев в нарушенных толщах. Выше разрыва — известняки нижнего карбона, ниже — нижнепалеозойские граниты. Центральный Казахстан

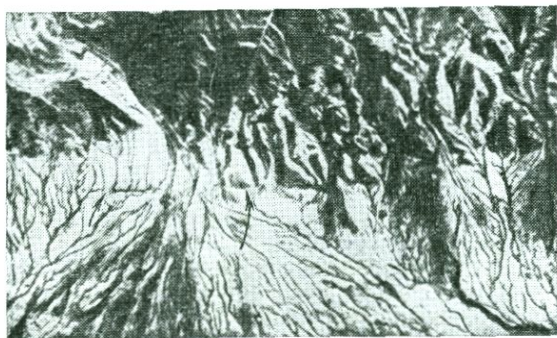


Рис. 31. Молодой сброс (показан стрелкой), четко фиксирующийся в рельеф в виде уступа. Копетдаг

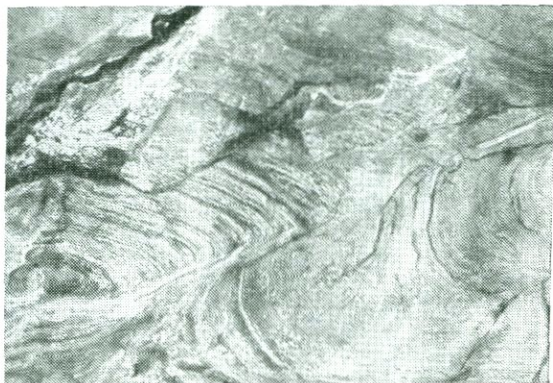


Рис. 32. Сдвиг в верхнепалеозойских пестроцветных отложениях. Центральный Казахстан

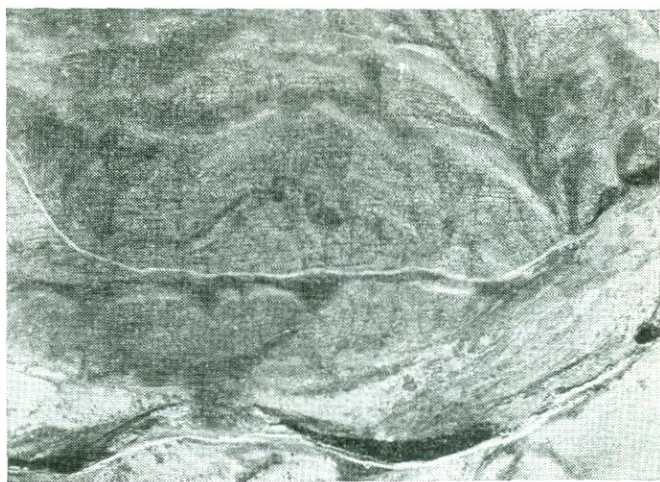


Рис. 33. Трещины в полого залегающих пермских песчаниках в Центральном Казахстане. Видно два направления трещин. Одно ориентировано вдоль линии простирания, второе — по падению

нимках видна как бы перекрещивающаяся слоистость, направлений которой является истинной слоистостью, — трещиноватостью или кливажем (рис. 34).



рис. 34. Диагональные трещины, пересекающие брахиантиклинальную складку, сложенную пестроцветными породами нижней перми. Центральный Казахстан

на аэроснимках изображены разновозрастные комплексы, разделенные несогласием, каждый из комплексов складчатости имеет различный план расположения трещин. При этом более старые комплексы обычно в большей степени поражены трещиноватостью по сравнению с молодыми.

Встречаются также складчатые структуры с антиклинальным ядром, ядра которых имеют значительно более частую трещиноватость, чем крылья.



Рис. 35. Несогласное налегание красноцветных конгломератов и песчаников среднего—верхнего девона (а) на породы верхнего пермозоя (б). Центральный Казахстан

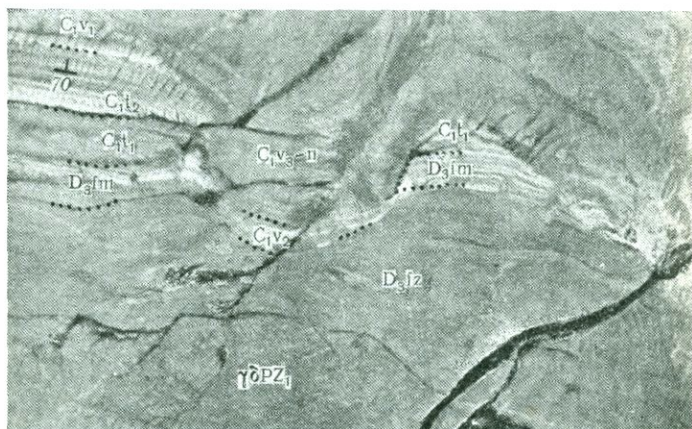


Рис. 36. Древняя эрозионная ложбина, выработанная в породах верхнего девона, турнейского и визейского ярусов, ингрессивно перекрытая прибрежными отложениями верхнего визе и намюра. Центральный Казахстан

Изображения на аэроснимках разрывов нередко бывают похожи на стратиграфические несогласия. Но последние имеют и некоторые отличия: несогласные границы не столь прямолинейны, как разрывы, и срезают слоистость только в древних толщах, в то время как слоистость в несогласно налегающей толще располагается параллельно поверхности несогласия (рис. 35). На аэроснимках можно отчетливо увидеть строение древнего эрозионного рельефа: погребенные под несогласно налегающими отложениями ложбины и выступы (рис. 36).

Глава VII

ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАГМАТИЧЕСКИХ И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД

Изображения эффузивных, интрузивных и метаморфических пород на аэрофотоснимках весьма различны; неодинакова и методика их дешифрирования.

Дешифрирование вулканических пород

Дешифрирование вулканических пород позволяет выявить строение вулканогенных комплексов, их структурно-текстурные особенности, расположение центров вулканической деятельности, фациальные разновидности вулканогенных образований и решить ряд других вопросов.

Породы вулканического происхождения выделяются на аэроснимках по нескольким характерным признакам. Рельеф, развитый на вулканогенных образованиях, характеризуется сглаженными водоразделами и уплощенными или округлыми вершинами. Фототон зависит от состава пород: он более темный на основных и средних по составу эффузивах и светлый на кислых. При чередовании эффузивов различного состава, а также при наличии среди них горизонтов туфов и осадочных пород на снимках появляется полосчатость, соответствующая простиранию пород (рис. 37).

Литологический состав эффузивных пород в каждом особенном ландшафтном районе имеет много специфических черт, но наиболее распространенные разновидности вулканитов обладают на аэроснимках некоторыми общими чертами.

Липариты имеют светлый фототон и на них возникает сглаженный рельеф. На поверхности мощных покровов липаритов развиваются расчлененные горные массивы с плоскими вершинами и крутыми склонами.

Дациты и андезиты обладают серым фототоном и чаще сглаженным рельефом. Дацитам и андезитам свойственна более густая сеть первичных трещин по сравнению с липаритами.

Андезито-базальты и базальты характеризуются темно-серым фототонном, хорошо развитым расчлененным рельефом и густой сетью первичных трещин. В них лучше чем в эффузивах другого состава, заметна слоистость, обусловленная присутствием прослоев несколько более светлых туфов или миндалекаменных базальтов. Мощные покровы последних нередко образуют крутые уступы на склонах. Выделяющиеся среди них темные полосы могут принадлежать стеклам или горизонтам шлаков.

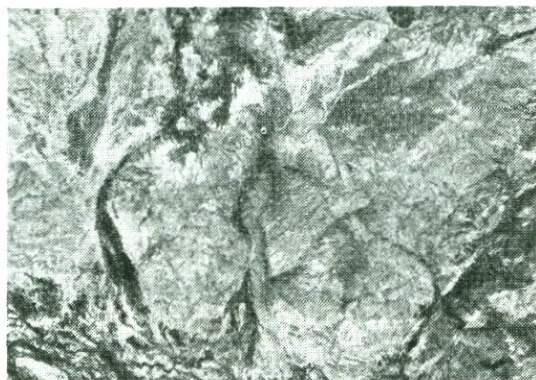


Рис. 37. Нижнедевонские порфиры, перекрытые неогеновыми гипсоносными глинами (белые пятна). Центральный Казахстан

На андезито-базальтах и базальтах всегда возникают элювиально делювиальные образования, нередко образующие протяженные шлейфы.

Игнимбриты могут быть отдешифрованы по некоторым характерным признакам. Хорошо сваренные их разновидности обладают темным фототонном и ясно выраженной слоистостью. При уменьшении степени сваренности фототонн игнимбритов становится светлее, а слоистость менее четкой. Рельеф, развивающийся на игнимбритах, сглаженный, слабо расчлененный.

При пологом и горизонтальном залегании эффузивов среди менее крепких осадочных пород на горных склонах появляются скалистые уступы и карнизы, а на водораздельных пространствах сглаженные, относительно ровные пространства или бронирующие покровы. При наклонном залегании эффузивы слагают верхнюю часть крутого склона и пологий склон кузет.

В складчатых структурах покровы эффузивов выделяются среди осадочных образований своей темной или значительно реже более светлой окраской и сглаженными формами микро-рельефа. При достаточной фотогеничности удается установить

фациальные разности вулканитов и их замещение осадочными породами.

Мощные однородные толщи древних эффузивов, слагающие обширные пространства, даже при хорошей обнаженности дешифрируются плохо. На них развивается выровненный или волнистый рельеф с плавными крупными формами и беспорядочным микрорельефом. Окраска их монотонная, тесная, без признаков или со слабыми признаками слоистости. Существенным дешифровочным признаком является четкая, нередко правильно ориентированная трещиноватость. Отдельные направления трещин могут быть сильно расширенными и разработанными процессами выветривания и в таких случаях ошибочно принимаются за крупные разрывы со смещениями.

Наиболее благоприятными для дешифрирования эффузивов являются регионы развития молодых вулканических пород, лежащих на более древних дислоцированных толщах. Особенно детально оконтуриваются лавовые потоки и лавовые поля, расположенные на склонах и у подножий современных вулканов. Они выделяются темной окраской, имеют густую своеобразную сеть трещин и следы течения лавовых потоков в виде бугров сжатия морщин, струйности и газовых воронок.

При изучении на аэроснимках современных вулканов Камчатки была установлена их связь с определенными тектоническими зонами, последовательность и стадийность излияния лав, взаимоотношения покровов с формами древнего и современного рельефа. Повторные аэроснимки дают материалы для количественной оценки тех изменений в строении вулканических конусов и морфологии рельефа, которые являются следствием извержений и сопутствующих им явлений.

Древние вулканические аппараты и неки дешифрируются по характерным вытянутым овальным или направленным

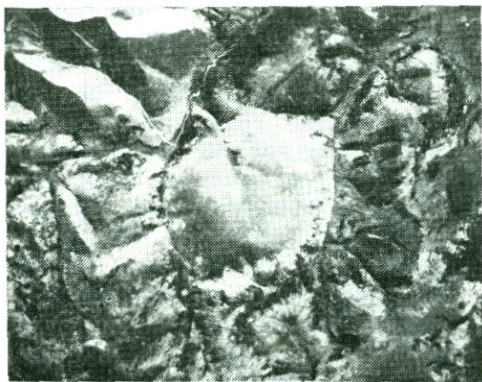


Рис. 38. Округлое субвулканическое тело эоценовых диорит-порфиритов. Корякское нагорье

«звездчатым» формам эруптивных тел, имеющих почти всегда более темную окраску по сравнению с окружающими их породами. В рельефе они образуют или повышенные, или, реже, пониженные участки, нередко в виде одиночных гор или холмов,

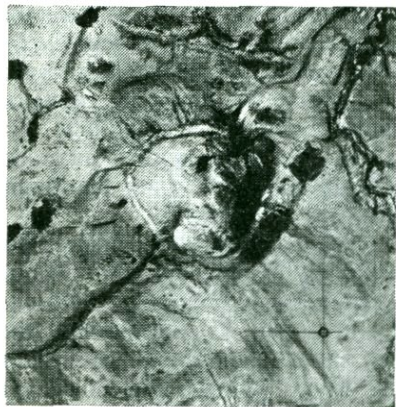


Рис. 39. Округлое субвулканическое тело эоценовых гранодиорит-порфиров. Корякское нагорье

не связанных с общей системой водоразделов, и долины. Существенное значение при дешифрировании может иметь трещиноватость, приобретающая в вулканических телах правильную линейную ориентировку или образующая полигональную сеть, ограниченную в своем распространении контактами с вмещающими толщами (рис. 38, 39).

Эруптивные тела, например трубки взрыва, заполненные относительно мягкими брекчиями изверженных пород, в рельефе выражаются плоскими понижениями, на которых почти не развивается или очень плохо расселяется древесная растительность.

Возникающие таким путем округлые или овальные пятна, лишенные деревьев, среди сплошного растительного полога могут явиться важным дешифрировочным и поисковым признаком.

Разрушенные древние вулканические постройки могут быть стдешифрированы по кольцевому плану расположения отдельных положительных форм рельефа или речной сети, аномальному рисунку элементов рельефа, выделяющемуся из общего плана, появлению изолированных гор или возвышенностей.

Большое внимание следует проявлять при дешифрировании вулканотектонических мульд, распространенных среди полей широкого развития вулканогенных толщ. Форма мульд в плане округлая, овальная, нередко грушевидная или изогнутая; их поперечные размеры составляют от многих километров до десятков километров. Контурсы мульд вырисовываются слоистостью, но важное значение могут иметь концентрически расположенные дайки, а также крупные и мелкие трещины. Слоистость, обычно крутая на крыльях мульд, постепенно и плавно выполаживается к их центральным частям. Здесь же очень часто располагается один или несколько интрузивных массивов тех или иных очертаний и размеров, но в целом подчиненных контурам мульд. Нередко и сами массивы обладают хорошо выраженным концентрическим строением.

Выделению кальдер в немалой степени способствуют также подчиненные элементам их внутреннего строения положительные формы рельефа и расположение речных долин.

Дешифрирование интрузивных пород

Изображению интрузивных пород на аэроснимках свойственно отсутствие слоистости, светлая (граниты) или темная монотонная окраска (габбро, ультрабазиты) и характерные формы рельефа. В пределах достаточно крупных интрузивных массивов речная сеть имеет лапчатый или ветвистый рисунок; сами долины становятся более редкими, а разделяющие их гряды укрупняются и сглаживаются. Нередко к крупным гранитным массивам площадью в сотни и тысячи квадратных километров приурочены горные массивы с самыми высокими абсолютными отметками. Известны также массивы, не отличающиеся по уровню развития на них рельефа от окружающих пород, и «утопленные» массивы, обнаженные на поверхности среди гипсометрически пониженного рельефа.

Возвышающиеся массивы чаще всего сложены гранодиоритами. Интрузивы ультраосновного, основного и гибридного состава занимают пониженные участки.

Поверхность гранитных массивов испещрена сетью тонких прямых и изогнутых трещин, среди которых всегда удается наметить определенную упорядоченность. Лучше других выделяются крутонаклоненные трещины, следующие параллельно общему внешнему контурам массивов, а также ортогональные направления трещин (рис. 40). Последние нередко очень резко выражены и обладают четкой прямолинейностью. Раскрытие трещин и объединение их в единые швы протяжением на сотни метров и даже на километры, часто отмечающееся в крупных гранитоидных массивах, объясняется, вероятно, последующим за образованием гранитных тел их гравитационным всплыванием и связанным с ним неизбежным расширением и «разваливанием». Такие швы легко разрабатываются процессами выветривания и ошибочно могут быть приняты за крупные разрывы (рис. 41).

Существенно отметить, что крутонаклонные трещины из интрузивных массивов проникают за их пределы в экзоконтактные зоны, это объясняется контракцией, охватывающей как интрузивное тело, так и прогретые при внедрении магмы экзоконтактные зоны.

Дешифрирование крутых прототектонических трещин в интрузивных телах всегда производится вполне отчетливо. Следует лишь проявить при этом настойчивость и терпение и выбирать среди них наиболее характерные. Значительно сложнее отдешифрировать пологие и горизонтальные первичные трещины. Последние на аэроснимках выглядят темными изогнутыми



Рис. 40. Округлый массив верхнепалеозойских гранитов (а), нарушенный в юго-западной части разрывами северо-западного направления (показаны стрелками). Центральный Казахстан



Рис. 41. Среднедевонские граниты. Центральный Казахстан

полосками на обнаженных склонах с выходами гранитов и их положение подчеркивается растительностью. Очень часто пологие трещины в совокупности образуют овальные и округлые куполовидные структуры весьма различных размеров с наложением более мелких куполов на более крупные.

В эндоконтактовых зонах трещиноватость у верхних и боковых частей массивов обычно совпадает с внешними контактами массивов. Если в этих зонах возникает полосчатость, обусловленная чередованием светлых и темных разностей интрузивных пород, то их можно ошибочно принять за слоистые вмещающие толщи.

Поля роговиков имеют более темный или, реже, светлый тон и при достаточной обнаженности оконтуриваются четко. В рельефе роговики, особенно содержащие много кварца, образуют повышенные формы, нередко в виде вала, окаймляющие гранитные массивы. Слоистость в экзоконтактовых зонах становится тогда выраженной особенно резко, так как усиливается процессами контактового метаморфизма.

Контуры массивов, имеющие интрузивные контакты, устанавливаются по совокупности указанных выше дешифрировочных признаков, а также по срезыванию слоистости вмещающих толщ. Следует быть очень внимательным при прослеживании контактов интрузивных массивов по аэроснимкам, отмечая отходящие от интрузии апофизы и оконтуривая мелкие тела, разобщенные с основным интрузивным массивом (рис. 42).



Рис. 42. Пермские граниты, прорывающие кислые эффузивы верхнего карбона. В эффузивах видны многочисленные апофизы и дайки гранит-порфиров. Центральный Казахстан

Внимательное дешифрирование границ интрузивных массивов нередко позволяет сделать выводы о форме их эродированной поверхности и подземном положении боковых контактов. Извилистая граница, вписывающаяся в формы рельефа с заливами и останцами кровли, указывает на пологое положение контактов; прямолинейность границ и отсутствие в их расположении связей с рельефом говорит о крутом положении или тектонической природе контактов.

Измерив тем или иным способом углы наклона контактов массива (например по пластовым треугольникам) и определив высотное положение точек его кровли, можно с той или иной точностью восстановить форму массива и установить глубину его размыва.

При трансгрессивном налегании осадочных и иных пород на размытую поверхность интрузивных тел сами контакты имеют более плавные и ровные формы по сравнению с интрузивными, а слоистость в толщах, налегающих на интрузивный массив или окружающих его, согласно окружает его контакты.

Массивы основного и ультраосновного состава дешифрируются всегда довольно сложно. Их темная окраска не всегда отчетливо выделяется на фоне темных же вулканогенных и кремнистых пород, и они могут быть мелкими по размерам. В зоне выветривания очень часто по гипербазитам развивается светлая или пестроцветная кора выветривания, что в еще большей степени затрудняет их выявление (рис. 43). Следует подчеркнуть существующую связь ультраосновных пород с разрывными нарушениями. При протрузивных контактах разрывы, ограничивающие массивы, не всегда достаточно хорошо выражены из-за кор выветривания.

Из других дешифрировочных признаков ультрабазитов следует иметь в виду очень слабый растительный покров или полное отсутствие его, характерный бугристый рельеф, обусловленный различной степенью серпентинизации пород, и системы пересекающихся трещин.

В гранитоидных массивах дешифрирование состава слагающих их пород должно опираться на различия в фототоне, характере рельефа и рисунка прото-

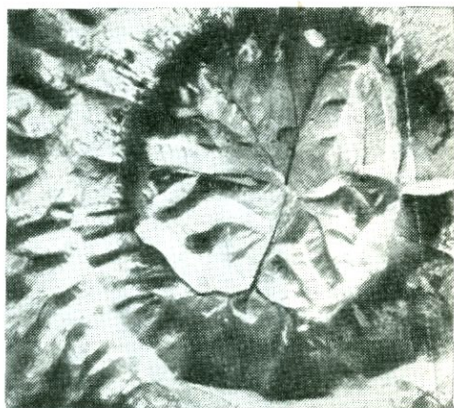


Рис. 43. Округлый массив дунитов среди терригенных пород верхнего протерозоя, образующих кольцевой вал. У контакта с дунитами терригенные породы наклонены от центра под углом $70-40^\circ$, а далее выполаживаются до $10-15^\circ$. Восточная Сибирь

тектонических трещин. Существенное значение может иметь также характер растительности, особенно не имеющей сомкнутого покрова.

В связи с тем, что крупнозернистые разности легче разрушаются, они слагают чаще пониженные формы рельефа, в то время как более мелкозернистые слагают повышенные участки. Однако известны случаи, например в Казахстане, и обратных взаимоотношений. Крупнозернистые разности гранитов нередко имеют более светлый фототон, чем мелкозернистые. Скалистые останцы в рельефе чаще сохраняются в крупнозернистых разностях. Сосновый лес, как правило, растет только на крупно- и среднезернистых гранитах. Неравномернозернистые порфировидные граниты эндоконтактовой фации занимают пониженные и сглаженные части массивов.

Чем резче отличаются сложение и структура отдельных разновидностей пород, слагающих массив, тем отчетливее они выделяются по фототону, рельефу и рисунку трещин.

Интрузивные дайки и жилы дешифрируются на аэроснимках при их достаточной мощности, позволяющей заметить эти образования в масштабе аэроснимка. Однако нередко даже тонкие крутые и вертикальные дайки интрузивных пород могут быть причиной появления положительных форм в рельефе: гряд, гривск, холмов и т. п. и в таких случаях при дешифрировании именно этот признак может оказаться определяющим. Другие дешифрировочные признаки даек и жил выражаются в их прямолинейности, более темной или более светлой окраске по сравнению с окраской вмещающих пород. Более устойчивые к процессам выветривания дайки и жилы хорошо видны по скалистым грядам или цепочкам скалистых останцов. Реже встречаются жилы, которые разрушаются быстрее вмещающих пород, и образуемые ими понижения в рельефе дешифрируются в виде узких линейновытянутых борозд. О составе интрузивных жил часто можно судить по тону изображения. Хорошо дешифрируются темные диабазы и порфириды, залегающие среди светлых интрузивных или осадочных пород; в противоположность этому аплитовые и кварцевые жилы имеют более светлую окраску. Значительно сложнее отдешифрированы пегматитовые тела, которые мало отличаются по фотогеничности от вмещающих интрузивных образований. Помочь в этом отношении могут скопления обломков кварца, нередко образующего их центральную часть (рис. 44).

Сопоставление условий залегания даек и жил с элементами залегания осадочных и вулканогенных пород или с ориентировкой первичных трещин в интрузивных телах позволяет выяснить секущие и согласные их формы залегания, а также связь с тектоническими нарушениями. Следует с большой осторожностью относиться к определению мощностей даек и жил. Их нельзя

устанавливать по ширине гряд в рельефе и понижений. Истинная мощность даек и жил, измеренная таким путем, почти всегда окажется преувеличенной.

По отношению к материнскому интрузивному телу дайки

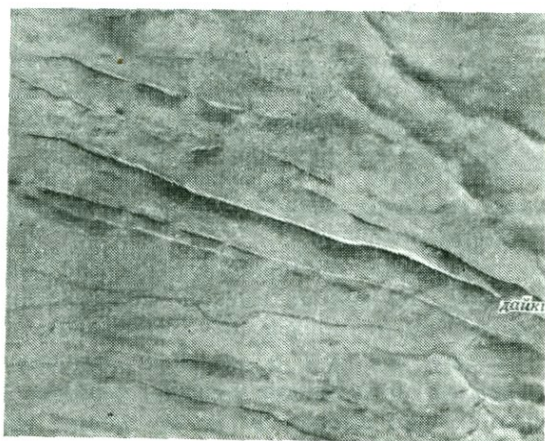


Рис. 44. Дайки порфиритов среди песчаников и сланцев верхнего силура, выраженные в виде гряд на расстоянии до 10 км. Тува

могут иметь секущее положение и вытягиваться в поясы, или группироваться вокруг массивов в эндо- и экзоконтактных зонах, образуя кольцевые и конические системы.

Дешифрирование метаморфических пород

Метаморфические породы по степени фотогеничности различаются очень сильно. Лучшие результаты дают толщи, заключающие образования с резкими изменениями физических свойств. На метаморфических породах развивается однообразный уплощенный, сглаженный или пологий низкогорный рельеф (рис. 45). На значительных пространствах, например на Кольском полуострове, коренные породы обнажены прямо на поверхности и почти лишены элювиально-делювиального покрова, обнаруживая на аэроснимках все особенности внутреннего строения.

Для метаморфических сланцев и гнейсов характерен тонкополосчатый рисунок, причем направление полосчатости соответствует обычно первичной слоистости и простиранию пород. Однако нередко видимая на снимке полосчатость представляет собой наложенную сланцеватость или кливаж, ориентированные

иначе, чем первичная слоистость. Особенно часто подобные явления отмечаются в замках складок.

Лучше других групп метаморфических пород дешифрируются кварциты. Они отличаются светлым фототонем и приуроченностью к ним положительных форм рельефа, имеющих либо



Рис 45. Протерозойские кристаллические сланцы, пронизанные нижне-палеозойскими дайками порфиринов. Центральный Казахстан

форму гряд, либо перегибов в склонах на границе кварцитов с другими породами.

Направление гряд соответствует простиранию пород и вполне отчетливо описывает форму складок, однако следует иметь в виду, что в пределах одной гряды может залегать не один пласт кварцитов, а целая пачка или несколько разновидностей пород с преобладанием кварцитов.

Грядовый рельеф, развивающийся на древних кварцитах, позволяет отличать последние от вторичных кварцитов, характеризующихся либо центральной симметричностью, либо беспорядочностью рельефа.

Метаморфические толщи вулканогенно-кремнистого состава характеризуются относительно темным фототонем. На эффузивах возникает бугристый неориентированный рельеф, а на несколько более светлых яшмовидных и кремнистых породах выделяются невысокие гривки или отдельные холмы, образующие гребешки и цепочки.

Порфириды с трудом поддаются дешифрированию. На них возникает однообразный рельеф, а аэроснимки отличаются ровным фототонем.

Мраморы по своим дешифрировочным свойствам очень

близки к кварцитам. Как и последние, они выделяются своим светлым тоном, но на них развивается выположенный сглаженный рельеф.

Если древние толщи обнажены в пределах высокогорья или гольцовых гор, их дешифрируемость резко ухудшается, а нередко становится крайне затруднительной, так как истинная слоистость в них маскируется трещинами, разрывами или линейными элементами рельефа.

Инструментальное дешифрирование в породах докембрия из-за сложности и небольших размеров деформаций весьма сложно и чаще сводится к определению углов наклона слоев.

Следует особо остановиться на дешифрировании гранито-гнейсовых куполов. Эти структуры, не только широко распространенные среди докембрия всех континентов, но и, вероятно, составляющие основу их тектоники, выявлены при дешифрировании аэроснимков. Обладая значительными размерами — от десятков до сотен километров в поперечнике, — гранито-гнейсовые купола и овалы четко вырисовываются на мелкомасштабных снимках — при хорошей фотогеничности концентрическим расположением метаморфических пород вокруг гранитоидных ядер, и при плохой — унаследованным расположением элементов рельефа и речной сети. В районах, подвергшихся значительной послепротерозойской тектонической перестройке, контуры гранито-гнейсовых куполов нередко отчетливо просвечивают сквозь наложенные позднейшие дислокации.

Глава VIII

ДЕШИФРИРОВАНИЕ НОВЕЙШЕГО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ПОКРОВА

Покров новейших континентальных образований теснейшим образом связан, с одной стороны, со строением рельефа, а с другой — с составом коренных пород. Ниже рассмотрено дешифрирование основных генетических типов континентальных отложений.

Элювиальные образования. Относительно мощный покров элювиальных образований развивается главным образом в пределах слабо расчлененных уплощенных водоразделов, на древних денудационных террасах, а также в пустынных и полупустынных областях. В горных районах, на массивных крепких коренных породах, в условиях интенсивно развивающегося физического выветривания на плоских водоразделах и пологих склонах образуются поля глыбовых и щебенчатых элювиальных россыпей, дешифрирующихся по неровной пятнистой и точечной окраске.

В условиях Крайнего Севера нашей страны каменные россыпи и развалы слагают обширные территории. На крупномасштабных снимках среди них удается подметить правильные многоугольники и иные формы. В степных районах со скудной кустарниковой и травянистой растительностью элювиальный покров, имеющий мощность даже в несколько метров, нередко совершенно незаметен на аэроснимках и передает все детали строения коренных пород, а избирательное расселение растительности и микрорельеф, развивающийся на элювии, в еще большей степени подчеркивают условия залегания коренного ложа. Глинистые элювиальные продукты выветривания обычно быстро покрываются растительностью и обнаруживаются с трудом. Исключение составляют ярко окрашенные коры химического выветривания, дешифрирующиеся по неправильной мелкопятнистой окраске.

Делювиальные образования, как и элювиальные, тесно связаны с формами рельефа, с составом и условиями залегания коренных пород. На снимках, углы наклона которых круче $25-35^\circ$, делювиальные отложения вообще не накапливаются, если только они не закреплены растительностью. При оконтуривании делювиальных образований ориентируются на характерные черты микрорельефа и фототон. Следует также учитывать и форму рельефа. В верхних частях склонов, имеющих выпуклую форму, скорость перемещения делювия наибольшая, а мощность наименьшая; в нижней вогнутой части склона скапливается основная масса делювиального покрова. Мощность делювиальных образований, развивающихся на склонах с выходом горизонтально залегающих пород, зависит от крепости последних, так как на месте крепких пород в рельефе образуются карнизы и скалистые выступы.

На склонах, сложенных складчатыми осадочными и метаморфическими толщами, делювиальный покров имеет более или менее одинаковую мощность; на гранитах делювиальные образования накапливаются лишь в выположенных участках рельефа или у подножия скалистых выступов; они имеют непостоянную мощность и неправильные контуры.

Пролювиальные отложения образуются как на склонах, так и на больших площадях в виде шлейфов, обычно лишенных растительного покрова. В местах интенсивного пролювиального смыва на склонах на общем светлом фоне аэроснимка виден густой, часто ветвистый или переплетающийся струйчатый рисунок, усиливающийся по резкости вниз по склону. На аэроснимках четко дешифрируются контуры пролювиальных конусов, они имеют вид секторов, спускающихся в долины основных рек из боковых притоков, с радиальным переплетающимся расположением высушенных или обводненных русел с ровной матовой окраской поверхности. На таких участках всегда можно

проследить условия образования пролювиальных конусов, взаимоотношения с долинными отложениями, которые они обычно перекрывают, установить современные условия аккумуляции пролювия (рис. 46).

Селевые потоки на аэроснимках выражаются чрезвычайно резко. Это обычно короткие и довольно широкие полосы с изог-

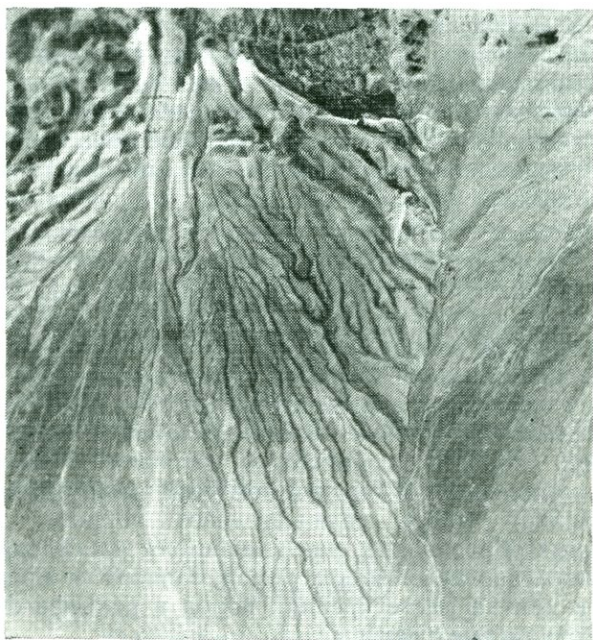


Рис. 46. Делювиально-пролювиальный шлейф у подножия хребта. Видны русла временных водных потоков. Каратау

нутыми плавными очертаниями, явно наложенными на подстилающие коренные или четвертичные образования. На поверхности селей возникают продольные борозды, параллельные границам переместившихся масс, а сам селевый поток имеет монотонную серую и желтовато-серую окраску. Борозды вытягиваются в направлении движения селевого потока и только у нижней его границы они плавно огибают селевый язык (рис. 47).

Гравитационные образования. К гравитационным образованиям относятся оползни, оплывины, обвалы и развитые, особенно на севере нашей страны, каменные осыпи и россыпи горных пород.

Оползни дешифрируются по бугристому рельефу, обла-

дающему пятнистой или струйчатой окраской и резкими линейными границами с оставшимися на месте породами. При медленном развитии оползня бугры вытягиваются изогнутыми грядами, обращенными выпуклостью вниз по склону. При быстром смещении на поверхности оползших масс возникают продольные полосы и линии, соединяющиеся под острым углом. Лес на поверхности оползня наклонен или повален.

Опльвины на аэроснимках изображаются светло-серыми языкообразными пятнами, лишенными растительности. протяги-



Рис. 47. Селевой поток на склоне Зайлийского Алатау

вающимися вдоль нижней части склонов. Опльвины, возникающие на крутых участках склонов в районах вечной мерзлоты, особенно резко выделяются по появлению на поверхности светлого льда и сплошной вывалки деревьев.

Обвалы на аэроснимках улавливаются, только когда они занимают значительную площадь. Опознаются обвалы по точечной или мелкопятнистой светлой поверхности с резкой верхней границей, ниже которой располагается обвальная конус, протягивающийся к подножию склона. Крупные обвалы могут перекрыть долины рек и явиться причиной появления озер. В месте обвала возникает каньонообразный прорыв с перекатами и водопадами.

Каменные осыпи и россыпи, особенно в гористых районах севера, нередко сплошь покрывают склоны, уступая место лишь отдельным скалистым выходам.

Растительность на осыпях и россыпях почти совершенно отсутствует и развивается лишь на отдельных участках в виде изолированных островков. На снимках осыпи и россыпи выделяются более светлым тоном по сравнению с остальной частью

склонов; иногда они покрыты продольными и поперечными валами и бороздами.

Аллювиальные отложения. Дешифрирование аллювиальных отложений в районах с хорошо развитой и постоянной речной сетью не представляет значительных трудностей. При этом устанавливаются и геоморфологические элементы речных долин: русло, пойма, террасы, склоны и т. д. (рис. 48).

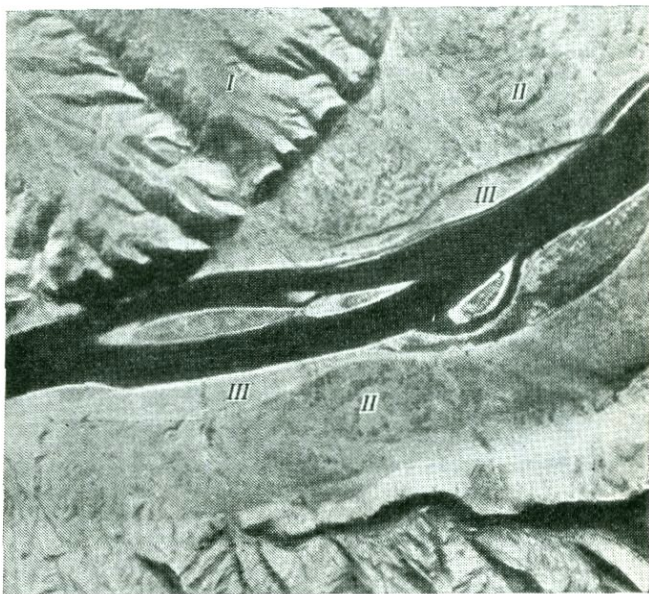


Рис. 48. Уступы в рельефе, отделяющие коренные породы (I) от аллювия террасы (II) и аллювий террасы от поймы (III)

Русловые и пойменные отложения тесно связаны с руслами рек. Их границы очерчиваются деятельностью речного русла (следы блуждания), старицами, характерным ленточным распределением влаголюбивой растительности. В таежных условиях поймы рек покрыты редкой древесной или только кустарниковой растительностью и выделяются своим светлым тоном (рис. 49).

В населенных районах поймы рек нередко засажены садами или превращены в луговые угодья. В степных и полупустынных областях со слаборазвитой речной сетью и непостоянным водотоком русел рек изображения аллювиальных отложений на аэроснимках отличаются темной окраской, образуяся за счет густого травянистого покрова, сохраняющего зеленый цвет в течение всего теплого времени года. Границы растительности

не всегда точно следуют распространению аллювия, и дешифрирование следует вести с точной привязкой к элементам рельефа.

Аллювиальный покров террас дешифрируется довольно уверенно по выровненным полосам с монотонной серой окраской, обрамленным либо крутыми уступами в рельефе, либо примыкающими к склонам речных долин. Очень характерна для бро-



Рис. 49. Пойма крупной реки. Видна старица и древние заросшие русла

вок речных террас изрезанность овражной сетью, вследствие чего нередко их границы носят неровный, как бы зазубренный характер. Террасы из-за слабой обводненности аллювия либо лишены растительности, либо она располагается в виде пятен и островов.

Очень близки по дешифровочным признакам современные озерные аллювиальные отложения и отложения озерных террас. Наиболее отчетливый генетический признак этого вида отложений выражен в их пространственной связи с современными озерными береговыми линиями (рис. 50).

Особой сложностью дешифрирования обладают древние аллювиальные речные и озерные отложения, не связанные с современной гидрографической сетью. При их выделении необходим тщательный анализ реликтовых участков прошлой сети и детальнейший геоморфологический анализ. Особое внимание должно быть обращено на расположение современных речных долин, возможные перехваты и заболоченные водораздельные пространства.

Ледниковые отложения. Ледниковые отложения теснейшим образом ассоциируют с ледниковыми формами рельефа. Массы льда в виде горных ледников или сплошных покровов на склонах и в полярных областях легко дешифрируются по белой окраске, полосчатости, отражающей движение ледника,

или характерной продольной и поперечной трещиноватости (рис. 51).

В горных районах лучше других видов ледниковых отложений дешифрируются конечные морены. Они образуют дугооб-

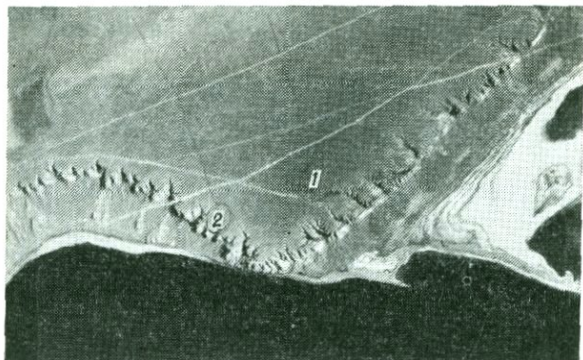


Рис. 50. Высокая озерная терраса (1), отделенная уступом от современных озерных отложений (2). Уступ изрезан овражной сетью. Средняя Азия

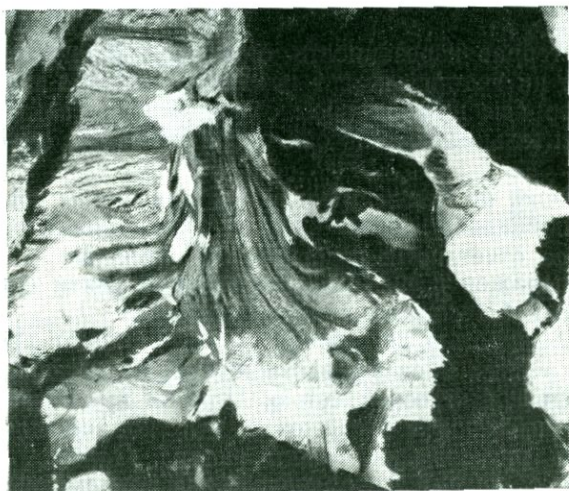


Рис. 51. Ледниковые цирки и дедники с комплексом ледниковых отложений. Средняя Азия

разные валы, вытянутые поперек долин, обращенные выпуклостью вниз по уклону долины. При отступании ледника гряды конечных морен могут быть разделены относительно ровными

участками, покрытыми остаточными моренами. Нередко можно наблюдать несколько уровней донных и конечных морен, прорезанных поздними ледниковыми языками, находящимися на более низких гипсометрических отметках, чем раннее оледенение. Для горных ледников характерно возникновение озер в троговых долинах, подпруженных грядами конечных морен. Особенно широко развиты конечные морены у концов ледниковых трогов, там, где они сливаются с более крупными долинами, и у подножий горных гряд.

Поля флювиогляциальных отложений дешифрируются всегда с большим трудом. Образующие их рыхлые песчаные накопления легко разрушаются или закрепляются растительностью. При благоприятных условиях на флювиогляциальных отложениях может развиваться густая овражная сеть.

Ледниковые отложения северных областей выделяются прежде всего обилием ледниковых озер, заметно вытянутых в одном направлении. Озера ограничены склонами моренных гряд, озов и друмлин. Особенности строения ледникового покрова, его состава, а нередко и генезиса могут быть подчеркнуты тундровой растительностью. Моренные отложения, лишённые растительности, имеют обычно более темный тон, чем скальные коренные породы. На моренах возникает мягкий сглаженный рельеф и на аэроснимках они имеют тонкозернистый рисунок. Тон изображения самой морены зависит от ее мощности — чем она меньше, тем светлее окраска.

При дешифрировании рыхлого покрова, развивающегося в условиях вечной мерзлоты и морозного выветривания, следует обращать внимание на различного рода геометрические рисунки, образующиеся на его поверхности. Они могут быть выражены сеткой полигональных трещин, образующихся на торфяно-бугристой тундре, каменными многоугольниками, кольцами и лентами, болотистым кочкарником, мочажинами или струйчатой сеткой, обусловленной неравномерным стоком надмерзлотных вод и развитием растительности. Указанием на вечную мерзлоту могут служить бугры-гидролакколиты, многочисленные луговые озера и понижения.

Золовые отложения обычно дешифрируются легко. Их присутствие может быть заранее предсказано, учитывая пустынные и полупустынные области их распространения. В большинстве областей и районов золовые пески возникают на поверхности древних аллювиальных и озерных отложений и реже на флювиогляциальных и пролювиальных накоплениях. Помимо светлой монотонно-точечной или ячеистой окраски, на поверхности золовых отложений почти всегда различаются холмы, гряды, струи, дюны и барханы, ориентированные вдоль или поперек господствующего направления ветров. Точечная и пятнистая структура окраски обусловлена кустистым или островным расположением растительности (рис. 52, 53).

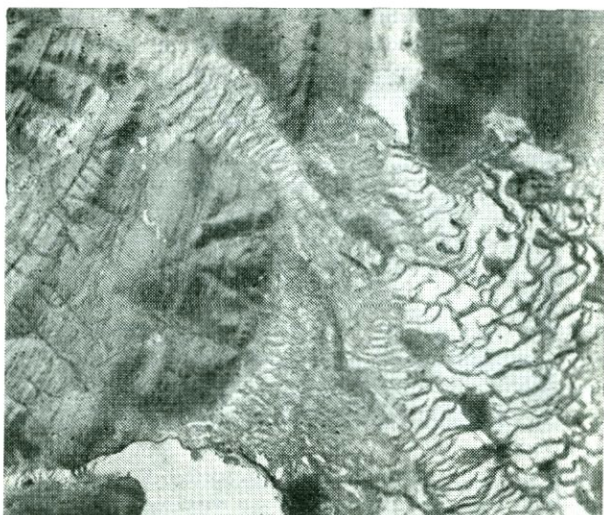


Рис. 52. Гряды золотых песков, накопившиеся за счет разветвления древнего аллювия в речной долине. Центральный Казахстан



Рис. 53. Грядово-ячеистые золотые пески. Каракумы

В районах, где эоловые пески возникают за счет разрушения и перевесвания коренных пород, расположение гряд, барханов, дюн и растительности нередко почеркивает состав и структуру коренных пород, которые как бы просвечивают сквозь вуаль,



Рис. 54. Бугристая поверхность дна высохшего такыра. Средняя Азия

образованную эоловым покровом. В лесостепной полосе эоловые отложения могут быть закреплены сосновым лесом. Последний в той или иной форме отражает бугристую поверхность песков и нередко образует правильный рисунок, напоминающий застывшие волны.

С эоловыми образованиями тесно ассоциируют пониженные плоские пространства, перекрытые глинами, называемые такырами. Весной и после дождей такыры наливаются водой, при высыхании которой остаются светло-серые матовые ровные пространства, покрывающиеся в засушливое время года полигональными и линейными трещинами. В полупустынном климате на поверхности такыров нередко остаются корки белых солей, передающихся на аэроснимках в виде белых пятен (рис. 54).

Глава IX

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ

Применение аэрофотосъемочных материалов при геоморфологических исследованиях исключительно эффективно. Оно проводится отдельно от геологического дешифрирования, но

тесно с ним связано и основано на использовании уже выявленных и установленных элементов геологического строения и развития изученной площади.

При геоморфологическом дешифрировании обычно используются плановые крупно- и среднемасштабные аэроснимки. Для геоморфологического районирования и составления геоморфологических карт полезны также фотосхемы и перспективные аэроснимки. Много полезных сведений могут дать также аэровизуальные наблюдения.

При дешифрировании аэрофотоматериалов наиболее обычно решение следующих задач геоморфологических исследований:

- 1) изучение рельефообразующих процессов и обусловленных ими форм рельефа;
- 2) описание и классификация геоморфологических объектов с целью установления возраста и эволюции форм рельефа;
- 3) морфологическое изучение рельефа с помощью фотограмметрических измерений;
- 4) выявление новейших тектонических движений;
- 5) геоморфологическое районирование;
- 6) составление геоморфологических карт.

Дешифрирование типов рельефа

Формирование высокогорного рельефа связано главным образом с эрозионно-денудационными и ледниковыми процессами в областях интенсивных новейших поднятий. Поля, покрытые льдами и снежинками, а также ледниковые языки отчетливо выделяются по белой окраске. Движущимся льдам свойственна струйчатость, вытянутая вдоль ледниковых языков, а также полосами боковых и срединных морен. Гольцовые и скалистые возвышенности, лишенные растительности, выделяются по серой монотонной окраске; на скалистых пространствах нередко присутствует полосчатость или иной рисунок, отражающий условия залегания коренных пород (см. рис. 51).

Хорошо дешифрируются водораздельные гряды, крутые склоны, ледниковые цирки и кары, днища долин. Для солифлюкционных потоков и селей характерен относительно светлый тон, параллельные борозды и ложбины, на поверхности вытянутые по направлению движения смыкающихся масс и плавно закругляющихся у нижних концов потоков.

При дешифрировании должно быть обращено внимание на контуры теней, позволяющих судить о профиле поверхности водораздельных гребней и их склонов. Следует отмечать резкие перегибы и уступы, обычно связанные с элементами геологического строения.

Среднегорный эрозионно-денудационный рельеф развивается также в областях с интенсивными полужительными новейшими движениями. Выражен он преимущест-

вено крупными формами в виде отдельных горных массивов и гряд. Водоразделы среднегорного рельефа обычно сглажены, а склоны их крутые; рисунок речной сети древовидный.

Узкие гребни на водоразделах возникают там, где поверхность сложена крепкими породами: туфами, кислыми эффузивами, кремнистыми образованиями, известняками и гранитами. Для среднегорного рельефа характерно развитие осыпей и камнепадов. Аэроснимки среднегорья имеют контрастные тона, вызываемые различной освещенностью склонов и глубоко врезаемыми долинами.

Следует отметить приуроченность во многих районах к повышенным горным массивам крупных палеозойских и мезозойских гранитных массивов. Подобные соотношения являются следствием гравитационного всплывания относительно легких гранитных масс вслед за их образованием, амплитуда которого может достигать 1—3 км.

Низкогорному эрозионно-денудационному рельефу свойственны сглаженные формы. Крутые склоны формируются преимущественно на гранитах, а пологие — приурочены к осадочно-вулканогенным породам. В районах развития горизонтально залегающих покровов эффузивов уплощенные низкие горы могут обрамляться крутыми и отвесными уступами и карнизами (см. рис. 12).

Холмистый рельеф обычно бывает пологим. Очень часто, например в Центральном Казахстане, в Крыму и других областях, холмы и гряды, развивающиеся на полого залегающих отложениях, имеют асимметричное квестовое строение.

Выровненный и равнинный рельеф возникает при аккумулятивных процессах. Он развивается на аллювиальных, ледниковых и лёссовых накоплениях, а также на новейших морских и озерных отложениях. Все эти типы рельефа на аэроснимках характеризуются монотонной серой окраской.

Дешифрирование форм рельефа

Возникновение различных форм рельефа теснейшим образом связано с литологией пород, обнаженных на поверхности, и условиями их залегания. На осадочных породах чаще возникают узкие гребневидные водоразделы. При наличии известняков и кремнистых пород на склонах и вершинах появляются скалистые гряды, утесы и обрывы. На вулканогенных и интрузивных породах чаще формируются широкие сглаженные водоразделы, на которых нередко высятся отдельные скалистые останцы. На молодых вулканических покровах развиваются пологие или волнистые плато.

При дешифрировании аэроснимков четко выделяются все формы рельефа, указываемые на геоморфологических картах: склоны, сложенные коренными породами, и склоны, покрытые

продуктами разрушения коренных пород, осыпи, обвальные накопления, оползни, делювиальные образования и т. п.; отчетливо дешифрируются поймы рек со всеми их элементами, террасы, поверхности древнего выравнивания и т. д.

Карст хорошо бывает замечен в известняках в виде темных округлых или овальных пятен той или иной густоты. Карстовые воронки, развитые в соленосных породах и гипсе, обычно бывают залиты водой.

Поймы рек тянутся полосами вдоль речных русел. На аэроснимках хорошо бывают заметны всея блуждания русла и старицы, контуры которых подчеркиваются линейным расположением древесной и кустарниковой растительности. Речным поймой влажной полосы свойствен неравномерный фототон от почти белого до черного, обусловленный чередованием песчано-галечных отложений, лишенных растительности, с участками, покрытыми лугами, болотами, кустарником и деревьями. В южных районах поймы лишены растительности и обладают светлым фототонном. В обжитых районах поймы могут быть покрыты сетью арыков и оросительных каналов, нарушающих естественный рисунок рельефа. Хорошо дешифрируются русла, острова, косы, перекаты, отмели, низкий и высокий пойменные уровни (см. рис. 48, 49).

Надпойменные террасы обрамляют поймы в виде полос той или иной ширины. Первая и вторая террасы тянутся обычно на значительные расстояния. На их поверхности могут сохраниться следы блуждания русел; в той или иной степени поверхности террас покрыты травянистой, кустарниковой или древесной растительностью и поэтому обладают неровным фототонном. В засушливых областях террасы лишены густой растительности и имеют ровный серый фототон. Очень часто на поверхности низких террас проложены дороги. Если бровки террас выражены хорошо и обрамляются достаточно высокими уступами, на бровках возникает множество мелких поперечных оврагов, оканчивающихся конусами выноса (см. рис. 50).

Высокие террасы сохраняются в виде отдельных фрагментов, они перекрыты делювиальным покровом, прорезаны оврагами и долинами боковых притоков. На севере СССР в результате образования делювиально-солифлюкционных накоплений террасированные склоны перерабатываются в характерный волнистый «террасоувальный» рельеф.

Фотограмметрическим путем может быть определена высота террас и измерена их ширина. Следует внимательно отнестись к возможным более поздним деформациям поверхностей террас в виде их местных понижений, поднятий или резких изменений высот, отражающих новейшие или современные движения коренного ложа.

Конусы выноса боковых притоков и оврагов дешифрируются по характерной секторной форме и веерообразному рас-

положению временных и древних русел. Растущие конусы выноса лишены растительности и поэтому обладают светлым фототонном; на древних частях и отмерших конусах возникает растительность, иногда со струйчатым расположением (см. рис. 46). Конусы выноса, спускающиеся в предгорные равнины, могут сливаться вместе и образовывать сплошной песчано-галечный шлейф.

Древние поверхности выравнивания на аэроснимках имеют вид горизонтальных или слабонаклонных площадок, занимающих большие пространства или образующих отдельные эрозионные останцы. Измерения их относительных высот могут дать полное представление о последовательности формирования отдельных уровней выравнивания. Последние не следует путать с нагорными и эрозионными террасами. Древние поверхности выравнивания в отличие от террас занимают главным образом водораздельные пространства. Нередко на них сохраняются коры выветривания в виде пестро окрашенных глинистых образований или других форм.

Ледниковые формы рельефа широко распространены в высокогорных областях и в северных широтах. Ледниковые языки современных горных ледников хорошо дешифрируются по белой окраске и струйчатости, образованной движущимися боковыми и срединными моренами. Фирновые поля дешифрируются по белой окраске, покровному залеганию и неровной границе; отступающие ледники имеют несколько более темную окраску; ниже отступающих ледниковых языков располагаются поперечные гряды и бугры грубообломочных конечных морен.

В приосевых частях высокогорных хребтов четко выделяются округлые и овальные ледниковые цирки и кары со следами ледяного или снежного покрова. Если оледенение относилось к древним эпохам, на дне цирков сохраняются гряды и бугры морен с характерным пятнистым рисунком (см. рис. 51).

В областях развития существовавшего прежде покровного оледенения преобладает холмисто-равнинный рельеф. Его дешифрирование сильно затруднено большой залесенностью, а на крайнем севере — широким развитием болотистых тундр.

По формам рельефа и их взаимному расположению выделяются озы, камы, друмлины. Отрицательные формы рельефа заполняются озерами, вытянутыми по направлению движения льдов.

Моренный рельеф дешифрируется с большим трудом, так как поверхность морены сильно перерабатывается последующими эрозионными процессами. На аэроснимках сохранившихся морен виден ячеистый рельеф и гряды, ориентированные вдоль и поперек движения ледника.

Гряды и бугры конечных морен дешифрируются очень отчетливо. Их форма подчеркивается вторичным расселением рас-

тельности. Дешифрирование зандровых полей и районов развития лёссов затруднено из-за сглаженности формирующего на них рельефа и обильного развития степной и лесостепной растительности.

Мерзлотно-солифлюкционные формы рельефа распространены главным образом в северном поясе нашей страны и в высокогорных районах.

Нагорные (гольцовые) террасы имеют вид дуг, концентрически окаймляющих отдельные горные вершины. Возникают они главным образом на интрузивных породах в виде небольших ровных площадок, обрамленных крутыми уступами.

Термокарстовые озера обладают округлой формой и располагаются группами или цепочками вдоль линий новейших разрывов. Ю. П. Баранова, изучавшая термокарст на северо-востоке нашей страны, указывает на несколько последовательных стадий преобразования аллювиальных и озерно-аллювиальных позднечетвертичных равнин термокарстовыми процессами.

Первоначально образуется всхолмленная поверхность со светло-серым, серым или темно-серым (при отсутствии лесной растительности) фототонном и своеобразным мелкопятнистым рисунком, возникающим при зачаточной форме термокарста (просадки, воронки, западины). Небольшие площади, совершенно не затронутые термокарстовыми процессами, отвечают участкам распространения песков и супесей. При дальнейшем разрушении равнины возникают холмы и увалы («едомы»), чередующиеся с западинами («аласами»). Появление в них многочисленных озер позволяет легко выделять такие участки на аэроснимках. Для следующей стадии преобразования характерен останцовый едомо-аласный и холмисто-озерный ландшафт. Едомные останцы выделяются на аэроснимках по своему гипсометрическому положению и темному фототону, обусловленному густой растительностью. Последняя стадия отличается образованием большого количества озер и пониженных озерно-болотных участков.

Наледи приурочены к поймам рек и выделяются своим светлым фототонном. Они могут быть многолетними и сезонными. Многолетние наледи связаны с выходами подмерзлотных вод вдоль новейших разрывов. При появлении сезонных наледей возникают наледные поляны, лишенные растительного покрова и имеющие однородный светлый фототон.

Полигональные формы рельефа развиваются на подземных льдах. Они четко дешифрируются на крупномасштабных снимках.

Делиuviально-солифлюкционные формы рельефа возникают на склонах, лишенных растительности и обычно покрываются продольными криосолифлюкционными полосами, что отличает их от других форм рельефа, образующихся на склонах.

Пустынные формы рельефа. В пустынных областях

элементы рельефа формируются под влиянием трех основных факторов: геологического строения ложа коренных пород, проявления новейших тектонических движений и аэродинамических условий.

По мнению В. П. Мирошниченко, наибольшее влияние на формирование ландшафтов оказывают новейшие тектонические движения, вызывающие чередование поднятий и опусканий. Мощность и механический состав рыхлого покрова контролируются главным образом геологическим строением и топологией долового рельефа. От них же зависит глубина залегания грунтовых вод, их засоленность и в определенной степени формирование почвенного покрова, растительности и других компонентов ландшафта.

На основании дешифрирования аэрофотоматериалов В. П. Мирошниченко выделяет следующие виды ландшафтов: песчаные, каменисто-песчаные, солончаковые и глинистые пустыни, ландшафты предгорных впадин, равнин и адыров. Песчаным пустыням свойственны барханно-котловинные, аккумулятивно-грядовые и ячеисто-грядовые формы рельефа; в каменисто-песчаной пустыне — котловинно-останцовые, дефляционно-бороздовые и эрозионные формы; в солончаковой пустыне — солончаково-котловинные, полигонально-равнинные формы; в глинистой пустыне — макрополигонально-скульптурные и аккумулятивно-такырные формы. Пространственная ориентировка многих отдельных форм определяется господствующими направлениями ветров.

Дешифрирование проявлений новейших и современных тектонических движений

Выше уже отмечалось, что районам интенсивных новейших поднятий соответствует высокогорный расчлененный рельеф; среднегорный и низкогорный рельефы соответствуют районам с меньшей амплитудой положительных движений. Холмистый и равнинный рельефы свойственны территориям, испытывающим общие незначительные поднятия или опускания. На интенсивные погружения указывает присутствие впадины в современном рельефе.

Большое влияние новейшие движения оказывают на перестройку речной сети. О положительных перемещениях свидетельствуют крутые ступенчатые продольные профили рек, сужения речных долин, перехваты верховьев рек. При отрицательных движениях возникают расширения долин, а иногда и озера. При перехватах обезглавленным речным долинам, даже в их верховьях, свойственна хорошая разработанность и большая ширина. Участки перехвата возникают там, где происходят новейшие поднятия. Бывшая речная долина при этом прев-

ращается в плоскую равнину, нередко заболоченную или покрытую озерами. Перехваты могут также возникать в результате заполнения речных долин ледниковыми отложениями или обвальными образованиями.

Наблюдения над древними поверхностями выравнивания и измерение их относительных высот путем фотограмметрической обработки аэроснимков позволяют с большой уверенностью восстановить скорости новейших тектонических движений. Не меньшее значение имеет изучение последующих деформаций ранее существовавших пенепленизированных поверхностей. При этом нередко удается установить образование сводовых поднятий и участков погружения.

Хорошо бывают заметны на аэроснимках активные в новейшее время разрывы. Они могут ограничивать различные элементы современного рельефа, нарушать строение четвертичных образований или служить границами их распространения. Нередко крупные разломы разграничивают районы с различным типом рельефа. С активными в новейшее время разрывами связаны оползни и обвалы, располагающиеся цепочками вдоль линий нарушения. Следует иметь в виду, что многие подобные элементы строения рельефа могут возникнуть и при других процессах. Например, уступы в рельефе образуются вдоль древних разрывов, если их крылья сложены породами с различными физическими свойствами.

Новейшие сдвиги дешифрируются по горизонтальным смещениям по линии разрыва всех элементов рельефа: речных долин и долин их притоков, водораздельных гряд и т. д. Расселение растительности также может способствовать выявлению активных в новейшее время разрывов.

Следует подчеркнуть, что геоморфологическое дешифрирование аэроснимков может иметь огромное значение при изучении литологии, тектонических структур и других элементов геологии. Во многих районах интерпретация морфологии рельефа является основой для понимания глубинного геологического строения.

Измерение элементов микрорельефа

Измерение высоты ряда мелких объектов. При геоморфологическом дешифрировании часто возникает необходимость измерения на стереопаре значительного числа высот отдельных мелких объектов: высоты уступов и скал, превышения бровок руслового берега над урезом воды, глубины оврагов, высоты барханов, а также крутизны склонов. На аэроснимках точки, по которым измеряют такие превышения, отстоят друг от друга на один или несколько миллиметров. Такие измерения выполнимы с точностью порядка 1/1500 высоты фотографирования даже на из-

мерительных стереоскопах и простейших стереоприборах. Однако применение общих формул превышения (18) и (19) при работе на этих приборах неудобно, так как параллаксы на них вычисляются по формулам, аналогичным (37), а не измеряются непосредственно.

Вследствие этого в равнинном районе превышения вычисляют по формулам (20) и (21). Однако если разности параллаксов в пределах стереопары превышают 2 мм, то параллактический коэффициент K нужно определять более строго. С этой целью на топокарте и снимках стереопары опознают какую-либо контурную точку A (удобно, чтобы она оказалась одной из измеряемых точек или находилась бы вблизи них) и по известному масштабу аэросъемки вычисляют масштаб m_A относительно высоты этой точки, снятой с карты. Точку A включают в число измеряемых. После выполнения стереонизмерений вычисляют параллактический коэффициент по формуле

$$K = \frac{10^{-3} m_A f}{b_{\text{Л}} - P_{O_2} - P_A + P_{\text{max}} + P_{\text{min}}}, \quad (45)$$

где $b_{\text{Л}}$ — длина базиса на левом снимке;

P_{O_2} — отсчет параллактического винта на правом центре стереопары;

P_{max} , P_{min} и P_A — наибольший и наименьший отсчеты на объектах измерения и отсчет на точке A .

Пример измерения и вычисления высот ряда отдельных объектов приведен в табл. 8. Он начат непосредственно со значе-

Таблица 8

Формуляр измерения и вычисления высоты ряда мелких объектов

Стереоскоп ЗС с параллаксометром; аэрофильм ТК=23; $f=70,0$ мм; стереопара 23—24; $b_{\text{Л}}=P_{O_2}=66,3$ мм; $M_A=1:5400$

№ точек	P	Δp	h	
0_1	22,17			$P_{\text{max}}=20,35, P_{\text{min}}=16,32,$ $\Delta p_{\text{max}}=0,82$
0_2	24,15			
A	23,50			$K = \frac{10^{-3} \cdot 5400 \cdot 70}{66,3 - 24,15 - 23,50 + 20,35 + 16,32} = \frac{378}{56,3} = 6,70$ $h = K \Delta p = 6,70 \Delta p$ $\sigma_h = 0,05 K = 0,3 \text{ м}$
1	16,32			
1'	16,75	0,43	2,9	
2	16,94			
2'	17,05	0,11	0,7	
3	17,50			
3'	17,85	0,35	2,3	
4	18,60			
4'	19,42	0,82	5,5	
5	18,90			
5'	19,63	0,73	4,9	
6	19,60			
6'	20,35	0,65	5,0	

ний P , которые получаются усреднением нескольких измеренных значений. При нумерации точек верхний край каждого объекта обозначен тем же номером, что и нижний, но со штрихом. Точность измерений превышений в метрах σ_h вычисляется по формуле

$$\sigma_h = 0,05K. \quad (46)$$

Если бы в табл. 8 использовался параллактический коэффициент формулы (21), равный для данного примера 5,7, то высота, например, шестого объекта оказалась бы равной 4,2 м, т. е. при точности измерений $\sigma_h = 0,3$ м в этот результат была бы включена дополнительная ошибка в 0,8 м.

Если

$$\Delta p_{\max} (P_{\max} - P_{\min}) > 4, \quad (47)$$

где Δp_{\max} — наибольшая из разностей параллаксов точек отдельного объекта (в табл. 8 $\Delta p_{\max} = 0,82$), то следует делить измеряемые объекты на две группы, относя в первую из них те, отсчеты на которых меньше $0,5 \cdot (P_{\max} + P_{\min})$, а во вторую — остальные, и вычислять K отдельно для каждой группы.

Измерение крутизны склона, т. е. угла α между его плоскостью и горизонтальной плоскостью местности, можно рассматривать как частный случай определения элементов залегания. По аэроснимкам целесообразно измерять наклон крутых склонов мелких форм рельефа или же наклон отдельных участков крутого и крутого склона, так как в других случаях трудно получить точность результата выше, чем при определении по топографической карте. Измерения можно вести по методике, изложенной для определения элементов залегания пласта, выбрав пластовый треугольник на поверхности склона. Однако для множественных измерений наклона крутых склонов целесообразно упростить методику. В этом случае при стереоскопическом наблюдении отмечают на каждом измеряемом склоне две точки, лежащие на одном уровне, и третью, находящуюся возможно выше (или ниже) их, и измеряют параллаксы этих точек. Угол наклона α вычисляют по формуле (36), в которую вместо p_1 и Δp_{31} подставляют средний параллакс точек, выбранных на одном уровне, и разность между ним и параллаксом третьей точки, а вместо l — расстояние от третьей точки до линии, проходящей через две первых, т. е. длину перпендикуляра, опущенного из третьей точки на эту линию. Направлением наклона склона является направление этого перпендикуляра.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО
ДЕШИФРИРОВАНИЯ ГЕОБОТАНИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ**

Наиболее перспективно использование геоботанических признаков при геологическом дешифрировании в равнинных, холмистых и низкогорных районах. На произрастании растительности отражается состав и строение только той части горных пород, в которой развивается их корневая система. Поэтому чаще всего индикаторы растительности передают данные о составе четвертичных отложений и, реже, о коренных породах. Тем не менее там, где среди четвертичных образований распространены делювиальные и элювиальные накопления, отражающие состав коренных пород, растительные индикаторы позволяют уверенно дешифрировать коренные породы.

Чем резче отличия в свойствах коренных пород, тем больше будет контрастности в произрастающих на них растительных сообществах. Однако встречаются и обратные сочетания: при различном составе пород на них развиваются одинаковые растительные ассоциации, что может затруднить дешифрирование аэроснимков.

Ярким примером использования геоботанического покрова может явиться использование в степных и полупустынных областях обводненности покрова четвертичных отложений, обусловленной выходами родников в сместителях разрывов. В таких случаях возникают темные прямолинейные полосы густой травянистой и кустарниковой растительности, если воды засолены или минерализованы, обводнение вызывает образование солончаков и солонцов, а растительность имеет разреженный характер, и на аэроснимках возникает светлый фототон.

В ряде районов с мощным покровом четвертичных образований в десятки метров по характеру растительности в сочетании с анализом рельефа удается получить достоверные данные о строении коренных пород. В этом случае играет роль литологическая и геохимическая характеристика четвертичного покрова, степень его обводненности, строение эрозионной поверхности коренных пород.

Опыт дешифрирования аэроснимков на территории Украины, накопленный А. А. Звягельским, показывает, что на возвышенностях современного рельефа развиты супеси, покрытые разреженным растительным покровом и обладающие несколько более светлым фототонем на снимках. Среди коренных пород они соответствуют мелкозернистым гранитам, образующим повышенные участки в древней эрозионной поверхности, унаследованные современным рельефом. В понижениях современного рельефа обнажены суглинки. Они покрыты более густой растительностью и имеют на снимках темный фототон. На глу-

бине им соответствуют среднезернистые граниты и углубления в древнем рельефе. В других случаях понижения в рельефе и темные тона возникают над полосами метабазитовых пород и над железистыми кварцитами кристаллического фундамента.

В Крыму и на Кавказе на известняках, мергелях и глинисто-песчаных породах мелового палеогенового и неогенового возраста отчетливо развиваются различные комплексы древесной и кустарниковой растительности. На чистых известняках растительность более редкая, местами лишь в виде отдельных узлов и пятен. Присутствие даже незначительного количества солей марганца в известняках делает крайне скудным и травянистый покров.

Появление сильной известковистости в песчаниках приводит к исчезновению древесной растительности, а кустарники становятся редкими. Такие слои, пачки или линзы легко выделяются на снимках своим светлым фототонном.

Хорошо известно также отравление почв солями меди, что приводит к поредению кустарниковой и древесной растительности и даже полному ее уничтожению. Так, например, в Джезказганском районе Казахстана пачки и линзы пермских сероцветных песчаников с повышенным содержанием меди покрыты только редкой групповой кустарниковой растительностью и почти совершенно лишены травяного покрова. Бесплодными бывают почвы над основными и ультраосновными породами вследствие присутствия в них солей хрома и никеля. Все эти аномальные явления легко могут быть подмечены на аэроснимках.

Значительное влияние на характер растительности оказывает степень засоленности коренных пород. Так, засоленные глины плиоценовой аральской свиты в Казахстане вызывают появление галофитной растительности и в вышележащих породах. Появление галофитной растительности может также указать на близость к земной поверхности коренных соленосных отложений. Это позволяет наметить положение скрытых соляных куполов, а также участки новейших тектонических движений с залежами солей, располагающимися вблизи земной поверхности.

Большое значение геоботаническое дешифрирование может иметь при поисках воды и выявлении гидрогеологических условий в пустынных, полупустынных и степных областях. Лучшие результаты для этой цели дают аэроснимки среднего масштаба, полученные в летнее время года. Как указывает Б. В. Виноградов, дешифрирование основано на связи растительности в засушливых районах с относительно неглубоко залегающими подземными водами. Особенно показательным в этом отношении является появление на песках черного саксаула, воды под которым располагаются на глубине от 25 до 40 м. Выделяя на снимках участки развития черносаксаульников, удается обна-

ружить не только скопления грунтовых вод в виде разоб-
щенных линз, но и проследить распределение грунтовых потоков,
особенно на древних аллювиальных равнинах. Вдоль иссохших
русел наблюдается отмирание зарослей черного саксаула и та-
мариска, а вдоль русел с подземным стоком черносаксаульники
размываются очень хорошо. Увлажненные русла на аэросним-
ках как бы окаймлены темными полосами черносаксаульников,
а полностью иссохшие русла выглядят на них светлыми, таки-
ми же, как и непосредственно прилегающие к ним площади.

Геоботанические дешифрировочные признаки могут быть с
успехом использованы для дешифрирования линз верховодок,
образующихся в песках и в котловинах выдувания. Влаголюби-
вая растительность располагается здесь чаще на дне дефляци-
онных котловин и реже по их окраинам. Руководствуясь гео-
ботаническими признаками, можно отличить котловины, к
которым приурочены верховодки, от безводных. Нередко в
солончаковых понижениях по их окраинам появляются кольца
пресных вод, тогда как в центре солончака воды засолены. Эта
особенность отражается на аэроснимках в появлении окаймляю-
щей солончак темной полосы растительности, окружающей
светлые поля солончака.

Западины в степных районах, заключающие линзы грунто-
вых пресных вод и верховодок, могут быть легко отдешифриро-
ваны благодаря произрастанию в их пределах влаголюбивой
растительности: верблюжьей колючки, чия, солодки, вейника.

Растительность помогает составить представление о неко-
торых современных процессах, протекающих в почвах и в
грунтах засушливых областей, например о накоплении в них
гипса. Важное дешифрирующее значение имеют лишайники,
темноокрашенные сообщества которых развиваются на огипсо-
ванных почвах пустынь. Большую помощь при геоботаническом
дешифрировании оказывают аэровизуальные наблюдения с не-
больших высот.

Г л а в а XI

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОФОТОМАТЕРИАЛОВ ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Непосредственное установление месторождений и рудопрояв-
лений по аэроснимкам — задача чрезвычайно трудная. Лишь
отдельные виды полезных ископаемых четко оконтуриваются на
аэроснимках. К ним относятся ярко окрашенные коры выветри-
вания, выходы темных и даже черных руд железа и марганца,
а также отдельные виды строительных материалов и скопления
подземных вод. Чаще же дешифрируются рудоконтролирующие

структуры либо другие особенности геологического строения, определяющие локализацию руд.

Большую роль при этом может иметь повышение качества черно-белой печати, а также применение цветной и спектральной съемки.

Для каждой группы полезных ископаемых основные значения приобретают те или иные дешифровочные признаки или комплексы.

Изучение жильных рудных месторождений следует вести на средне- и крупномасштабных аэроснимках. Чаще других локализирующие структуры жильных месторождений выражены разрывами, от крупных региональных разломов до мелких небольших разрывов и трещин. Особенно благоприятными оказываются узлы пересечения разрывов различного направления. Важное значение могут иметь зоны расланцевания, концентрация мелких разрывов зон дробления и кливажа. В полиметаллических месторождениях, приуроченных к зонам дробления, в результате процессов окисления над рудными телами могут возникнуть отрицательные формы рельефа. На месторождениях, связанных с кварцевыми и баритовыми жилами, характерно образование гривок и гряд либо развалов глыб, образующих белые полосы.

Нередко вдоль разломов проявляются вторичные изменения пород: окварцевание, серицитизация, хлоритизация, альбитизация и т. п., вызывающие образование светлых или темных полос. С указанными выше и другими подобными породами могут быть связаны редкометальные и иные виды оруденения.

Большое значение аэрометоды могут иметь при прослеживании уже известных рудных тел на прилегающей к ним площади, дешифровочные признаки которых могут быть заранее установлены, а также нарушенных разрывами и смещенных рудных тел.

Значительное количество жильных рудных месторождений контролируется элементами складчатой структуры. Очень часто таковыми оказываются осевые части антиклиналей, нередко раздробленные или ослабленные трещинами и растягивающими напряжениями. Контроль оруденения может осуществляться факторами, обусловленными интрузивной деятельностью. К их числу относятся ореолы роговиков и скарнов; значение может иметь форма и строение верхних и боковых поверхностей интрузивного тела. Хорошо известна приуроченность гидротермальных жил к крупным дайкам магматических пород, образующих в них скопления в тех или иных сочетаниях. Очень перспективны в отношении гидротермальных жил верхние апикальные части интрузивных массивов, а также останцы кровли пород.

Важными для локализации жильных минералов и руд могут быть экранирующие структуры. К ним относятся поверхности

несогласия, боковые и верхние контакты интрузивных тел, поверхности сместителей разрывов, отдельные горизонты пород в складчатых структурах.

Все эти элементы надежно дешифрируются по аэроснимкам и при дополнительных дешифрировочных признаках, отражающих рудные тела, можно по снимкам с успехом наметить участки для постановки детальных поисковых работ.

Поисковыми признаками полиметаллического прожилково-вкрапленного оруденения являются ореолы вторичного изменения пород: скарирование, окварцевание, серицитизация, появление кальцитовых и иных жил. Скарии могут иметь и более светлую, и более темную окраску на фоне вмещающих пород. Они занимают ту или иную площадь или образуют отдельные горизонты.

Зоны серицитизации и окварцевания обнаруживаются на аэроснимках по светлому фототону, особенно хорошо заметному среди эффузивов, туфов, песчаников и сланцев. Окварцевание, кроме того, связано с появлением положительных форм в рельефе. Близкие дешифрировочные признаки могут быть использованы при поисках оруденения штокверкового типа. Например, появление участков альбитизированных гранитов с редкотальным оруденением среди обычных гранитов обнаруживается по светлому тону, появлению тонкой трещиноватости и мелких тонких полосок, ориентированных в различных направлениях.

Вторичные кварциты возникают как по первичным эффузивным, так и по интрузивным породам. Среди первых вторичные кварциты дешифрируются по светлой окраске, положительным формам рельефа и относительно редкой сети трещин. Те же признаки свойственны и вторичным кварцитам, развивающимся по интрузивным породам. При этом могут быть выявлены взаимоотношения между вторичными кварцитами и первичными породами, роль разрывов и другие данные, указывающие на происхождение кварцитов. Рельеф, возникающий на вторичных кварцитах, обычно невысокий, мелкогрядовый или холмистый с отдельными островерхими вершинами. Присутствие оруденения в кварцитах устанавливается только на крупномасштабных снимках. На них дешифрируются обохренные участки, зоны окисления и другие явления.

Изучение структур рудных полей, сопровождающееся дешифрированием аэроснимков, оказывается наиболее полным и продуктивным. При этом наибольшие результаты дают средние и крупномасштабные аэроснимки. Они позволяют расширить рудоносные поля на флангах, установить положение новых рудных объектов в пределах рудоносных зон или наметить новые участки для постановки поисково-оценочных работ. Дешифрирование аэроснимков представляет собой единственный путь, позволяющий провести анализ разрывов и иных зон проницаемости, имеющих основное рудоконтролирующее значение. Аэро-

снимки дают возможность также проверить правильность заложения горных выработок.

При изучении рудных полей вначале выявляются дешифровочные признаки рудных тел и рудоносных зон. Для этой цели сопоставляются данные по уже разведанным участкам с изображением их на аэроснимках. Выявление рудоконтролирующих дешифровочных признаков позволит перейти к площадному дешифрированию с выделением перспективных участков как на уже разведанных площадях, так и на прилегающих к ним участках. Особенное внимание следует обращать на следы древних разработок, заметить которые нередко можно только на аэроснимках.

Нужно помнить, что одно дешифрирование не может обеспечить оценку рудоносности и должно проводиться в комплексе с другими поисково-разведочными и оценочными работами.

Материалы аэросъемки могут быть использованы для точной привязки рудопоявлений, горных выработок, мест взятия шлиховых и металлометрических проб. Делать это можно с большей точностью, чем на обычных топографических картах.

При изучении структур рудных полей большое значение имеет выбор масштаба аэросъемки. Наиболее продуктивно применение аэроснимков двух масштабов: среднемасштабных (1 : 30 000—1 : 15 000) и крупномасштабных (1 : 10 000—1 : 2000). На последних региональные тектонические структуры, например разрывы, могут быть плохо заметны и не уловлены в связи с уменьшением четкости их изображения, в то время как на среднемасштабных (или даже мелкомасштабных) снимках такие структуры выражены четко. С другой стороны, мелкие рудные тела, жилы, разрывы, трещины, небольшие складки, хорошо заметные на крупномасштабных снимках, на снимках среднего масштаба могут отсутствовать. При отсутствии крупномасштабных снимков и невозможности выполнения можно увеличить среднемасштабные снимки либо фотографическим, либо оптическим путем. Как показывает опыт, увеличивать снимки рационально не более чем в 2—2,5 раза, так как далеко не всегда этот прием приводит к появлению на снимках новых деталей структур.

Особенно эффективно при поисках и разведках рудных месторождений применение цветной и спектральной аэросъемки. По цветным снимкам легко прослеживаются ореолы и зоны гидротермальных изменений, рудные тела и вмещающие их породы, имеющие различия в оттенках цветов или тонах, отличающих их от окружающих пород. Цветная фотография весьма чувствительна даже к слабым изменениям окраски геологических объектов, имеющих значение при поисках руд. Спектральные и цветные аэроснимки можно рассматривать с различными фильтрами, что позволяет усилить четкость изображения отдельных разновидностей пород. Широкое применение дешиф-

рирование аэроснимков получило при поисках россыпей и особенно золота.

Многолетний опыт использования аэроснимков для поисков россыпей золота в северо-восточных районах нашей страны, обобщенный В. В. Козловым и А. В. Артемовым, позволил им сделать ряд выводов и предложить следующие рекомендации.

Россыпные месторождения большей частью располагаются вдоль зон крупных региональных разломов, состоящих из многочисленных субпараллельных разрывов. Вдоль таких зон фор-



Рис. 55. Геологическая карта месторождения россыпного золота (по В. В. Козлову и А. В. Артемову, 1970)

1 — современные аллювиальные отложения; 2 — современные делювиально-солифлюкционные отложения; 3 — триасовые отложения; 4 — разрывные нарушения, отдешифрированные по аэрофотоснимкам; 5 — разрывные нарушения под покровом четвертичных отложений, отдешифрированные по аэрофотоснимкам; 6 — крупные трещины, отдешифрированные по аэрофотоснимкам; 7 — зона интенсивной трещиноватости вдоль крупного разрыва; 8 — россыпи золота

мируются речные долины, а отдельные разрывы отражаются в рельефе прямолинейными участками, спрямленными участками речных долин, цепочками седловин, расположенных на одной линии. Наиболее благоприятными для концентрации россыпного золота являются долины, расположенные в пределах зон разломов и вытянутые согласно с ними. Такие долины обладают хорошо выраженной прямолинейностью и нередко непохожим рисунком рельефа на различных склонах. Если склоны хорошо обнажены, то могут быть выявлены и рудоносные разрывы, чаще всего оказывающиеся оперяющими (рис. 55).

При дешифрировании аэроснимков с целью изучения россыпей следует отмечать положение разведочных линий и обобщенные содержания металла в россыпи. Это поможет выявить дешифрировочные признаки перспективных участков, которые затем можно использовать на неразведанных площадях.

Довольно многочисленны месторождения россыпного золота,

приуроченные к речным террасам и древним погребенным речным долинам.

М. В. Пиотровский и А. А. Негребецкая указывают, что погребенные россыпи в Восточной Сибири приурочены к «глубокому тальвегу», перекрытому мощной толщей рыхлых отложений, которая, однако, не достигает верхней части коренных склонов долин. Причем современные долины проходят в общих контурах древних долин, но на многих участках не совпадают с глубоким погребенным тальвегом. Затраты на бурение, применяемое обычно при поисках погребенных россыпей, могут быть значительно сокращены в объеме, если параллельно с бурением проводится и дешифрирование аэроснимков. Сопоставляя данные дешифрирования с имеющимися данными разведки, можно с большой точностью наметить вероятное положение «глубокого тальвега» и на этом основании проектировать разведочные работы лишь на перспективных участках.

Древние речные долины, имеющие иной план строения по отношению к современной речной сети и перекрытые более поздними делювиальными и иными четвертичными образованиями, определяются по относительно темной окраске, следам речных русел, нередко хорошо заметных, хотя и в забуаулированном виде, отличному микрорельефу, а также по линейному расположению заболоченных участков и впадин, покрытых водой или превращенных в озера.

В районах, в которых золотоносные россыпи в современных речных долинах хорошо изучены и в той или иной степени выработаны, с помощью аэроснимков следует стремиться к выявлению связей россыпей со структурами коренных пород, среди которых, как показывает опыт, первостепенное значение имеют пояса крупных разломов, дробления и трещиноватости. Выявленные дешифрировочные признаки позволяют наметить районы для постановки поисковых работ, благоприятные участки для поисков погребенных россыпей в аллювиальных отложениях террас.

Большую помощь дешифрирование аэроснимков может оказать при поисках рудных тел, питающих россыпи. Особенно результативными в этом отношении могут быть поиски оловянных, вольфрамовых, ртутных и золотых месторождений. При этом устанавливается направление переноса продуктов разрушения пород на склонах, что в совокупности с дешифрировочными признаками тектонических структур, рудоносных тел, вторично измененных пород и ореолов рассеяния рудных минералов может привести к локализации благоприятных участков.

Весьма продуктивным применение аэроснимков оказалось при поисках кимберлитовых тел в алмазоносном районе Якутии. Как указывают Н. В. Кобенц и В. Б. Комаров, было установлено, что кимберлитовые трубки встречаются на залесенных

склонах, водораздельных пологих увалах и иногда в долинах. В рельефе трубки отражаются только в тех случаях, когда перекрывающий кимберлитовые трубки рыхлый покров не превышает 1,5 м. Выходы кимберлитов на дневную поверхность имеют преимущественно округлую форму, встречаются также овальные и более сложные контуры. Один из основных признаков дешифрирования кимберлитов выражен в характерной ассоциации растительности на их выходах. На поверхности кимберлитов и продуктах их сноса произрастает густая ольхово-лиственничная растительность, хорошо выделяющаяся на фоне редкоствольной тайги, изображающаяся на аэроснимках относительно темным фоном. Другим признаком дешифрирования кимберлитовых трубок может служить нарушение строения структурно-денудационных уступов в местах пересечения их ультраосновными породами, слагающими трубки.

Как правило, ложбины склона плавно обтекают кимберлитовые трубки, образуя характерный рисунок. В отдельных случаях удается дешифрировать трубки по зонам экзоконтактов, которые выражены кольцевыми и дугообразными понижениями.

Следует отметить, что ни один из признаков дешифрирования кимберлитовых трубок не является присущим только им и поэтому следует учитывать всю совокупность признаков. Особое внимание нужно уделять сопоставлению результатов дешифрирования с данными аэромагнитной съемки. При совпадении отдельных положительных аэромагнитных аномалий с отдешифрированными контурами предполагаемых кимберлитовых тел можно рассчитывать на успешное обнаружение трубок. С другой стороны, кимберлитовые трубки могут и не отличаться напряженностью своего магнитного поля от окружающих пород и не найти отражения на аэромагнитных картах, но по дешифрировочным признакам четко выделяться на аэроснимках.

Широко используются материалы аэросъемки при поисках и разведке нефтяных месторождений. При этом наиболее рационально применение снимков различных масштабов — от среднемасштабных (от 1:30 000 до 1:60 000) и до космических. Основное назначение среднемасштабных снимков заключается в выявлении положительных складчатых структур, для чего могут быть использованы все вышеизложенные методы геологического дешифрирования. В закрытых районах при дешифрировании возможных нефтеносных структур основное внимание уделяется положительным структурам, созданным новейшими движениями, и их отражению в геоморфологии района.

При достаточной фотогеничности аэроснимки позволяют безошибочно выявлять не только общую характеристику строения отдельных нефтеносных складок, но и многие важные их детали, ускользающие от наблюдателя при наземной съемке. Это даст возможность целеустремленно и с большим эффектом вести как разведочное, так и поисковое бурение.

Огромную помощь геологам оказывают аэроснимки при изучении стратиграфии нефтеносных районов, корреляции стратиграфических разрезов отдельных структур и нефтеносных районов. Применение аэрометодов при поисках и разведках нефти и газа должно проводиться в комплексе с геофизическими и буровыми работами.

В последние годы установлено, что крупные разломы, выраженные в чехле платформ флексурно-разрывными зонами, создают предпосылки для накопления в пределах их влияния значительных скоплений углеводородов. На участках земной коры, прилегающих к разломам, улучшаются коллекторские свойства пород, возникают антиклинальные структуры и более активной оказывается миграция углеводородов. Этим объясняется локализация месторождений нефти и газов вблизи зон разломов, отчетливо выраженная в Закаспии, в восточной части Восточно-Европейской платформы и на Западно-Сибирской плите. Существуют данные, указывающие на то, что якутские алмазоносные кимберлиты связаны с широтными глубинными разломами. Определенную зависимость от разломов обнаруживают месторождения редких и цветных металлов на Урале, Енисейском Кряже, в северной части Казахстана.

В последние годы стали широко использоваться мелкомасштабные аэроснимки и космические методы геологического исследования. Они позволили установить региональную связь многих месторождений нефти и газа с крупнейшими структурами земной коры и, в частности, с глубинными разломами. На космических фотографиях удается обнаружить изображения глубоких погребенных структур, просвечивающих сквозь покровные отложения; с помощью инфракрасной съемки могут быть выявлены региональные и глобальные тепловые аномалии, имеющие непосредственную связь с залежами нефти. Все это позволяет производить сравнительный геологический анализ, выявлять контролирующие структуры и перспективные нефтегазоносные провинции.

Глава XII

ДЕШИФРИРОВАНИЕ ГЛУБИННОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ

В настоящей главе приведены материалы по дешифрированию аэрофотоматериалов, накопленные при изучении глубинной структуры платформенного чехла и фундамента, и сведения по использованию изображений Земли, выполненных из космоса.

В районах, где кристаллический фундамент платформ перекрыт чехлом горизонтально или полого залегающих палеозой-

ских отложений и покровом рыхлых кайнозойских континентальных образований, геологическое дешифрирование аэрофотоматериалов нашло очень широкое распространение и привело к созданию многочисленных оригинальных методик.

Как указывает Г. И. Раскатов, проводивший работы в центральных областях Восточно-Европейской платформы, методическую основу применения черно-белой аэрофотоосновы для дешифрирования глубинных элементов фундамента составляют геоморфологический и ландшафтный анализ, направленный на максимально полное выявление новейшей структуры изучаемой территории и использование в той или иной степени выраженной унаследованности новейшей структуры по отношению к строению чехла и фундамента. При этом должен быть принят во внимание весь комплекс имеющихся материалов, а также данные геофизики, бурения, изучения выработок и обнажений.

Успешное дешифрирование элементов тектоники и других особенностей геологического строения покрова рыхлых новейших отложений, чехла платформенных отложений и фундамента, скрытого под толщей позднейших пород, должно быть прежде всего проведено в тех районах, где происходило унаследованное развитие тектонических структур и движений с сохранением их общей направленности и планов на различных стратиграфических уровнях.

В условиях районов КМА применение аэрометодов позволило уточнить границы тектонических элементов докембрия, выделение границ складчатых структур и распространения некоторых достаточно обособленных петрографических разновидностей пород, наметить положение разрывных нарушений как в фундаменте, так и в палеозойском чехле, уточнить структурные карты по поверхности предпалеозойского несогласия и по отдельным горизонтам осадочного чехла, установить локальные поднятия и впадины в чехле, а также структуры и формы древнего погребенного рельефа, контролирующее размещение полезных ископаемых и в фундаменте, и в палеозойских породах.

Для решения перечисленных задач Г. И. Раскатов рекомендует следующие основные приемы изучения аэрофотосъемочных материалов:

- 1) изучение рисунка гидросети от деллей, оврагов и балок до речных долин основных водотоков и их притоков;
- 2) изучение карста, суффозионных форм, оползней, структурных террас, поверхностей выравнивания, флювиогляциальных и речных террас, а также ледниковых форм, как показателей состава и структуры коренных пород;
- 3) изучение фототона (особенно на средне- и мелкомасштабных аэрофотоснимках) с учетом времени и условий съемки для выявления состава, генезиса, мощности четвертичных отложений, степени их водонасыщенности, характера рельефа

эрозионной поверхности основания покровных накоплений, генезиса форм рельефа, трещиноватости в фундаменте и т. д.:

4) изучение антропогенных форм рельефа и сопоставление аэроснимков одной и той же территории, снятых с интервалом в 10—20 лет.

При дешифрировании тектонических структур и погребенных форм рельефа следует внимательно отнестись к изучению пла-

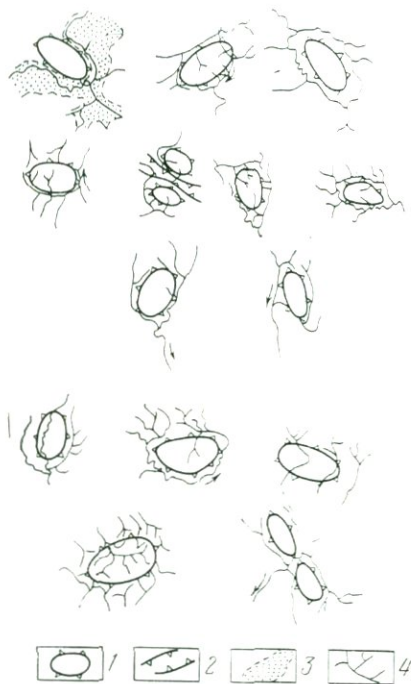


Рис. 56. Рисунок гидросети и локальные структуры (по Г. И. Раскатову)

1 — локальные поднятия; 2 — локальные прогибы; 3 — поля аллювиальной аккумуляции; 4 — гидросеть

нового рисунка эрозионной сети. Над новейшими тектоническими поднятиями, часто имеющими унаследованное развитие, образуются участки с центробежным расположением речных и овражных долин. В противоположность этому в районах молодых прогибаний возникает центростремительный рисунок или пучкообразные ветвления долин (рис. 56).

Спрявленные участки русел рек и общие генеральные прямолинейные их направления нередко совпадают с линиями разломов в кристаллическом фундаменте, что во многих районах подтверждено геофизическими данными. Повторяющиеся формы меандр, коленообразные изгибы русел могут находиться в прямой зависимости от трещиноватости пород осадочного чехла или фундамента (рис. 57).

На направленность новейших движений указывают также заболоченные участки, снижение высот террас и особенно погружение под уровень поймы первой надпойменной террасы. Не следует упускать из виду необходимость тщательного анализа картографического материала.

Значительную помощь аэроснимки могут оказать в дешифрировании погребенных палеодолин, выявление которых обычно производится с помощью бурения. Фототон земной поверхности над погребенными долинами чаще более светлый, чем окружающей местности; вдоль их бортов возникают уступы, отделяющие структурно-денудационные формы рельефа прилегаю-

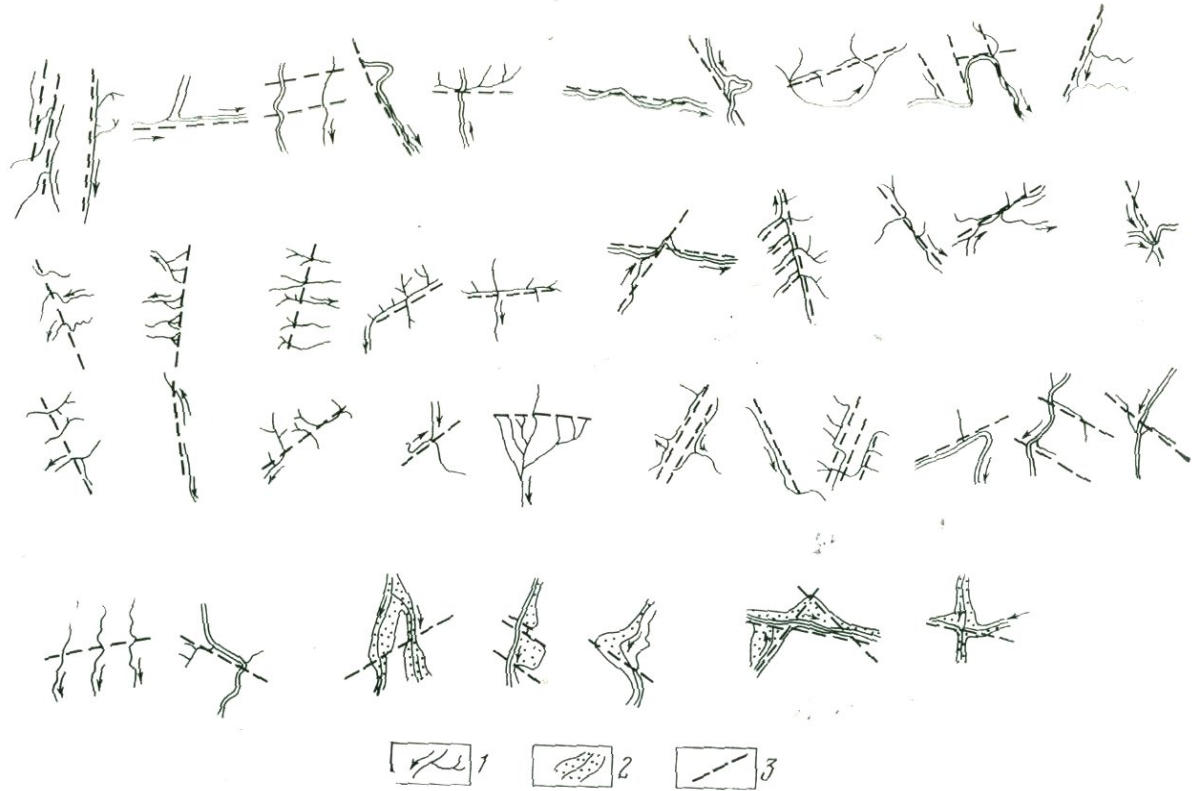


Рис. 57. Геоморфологические признаки, позволяющие выделять разрывные нарушения (по Г. И. Раскату) 1 — гидросеть; 2 — поле аллювиальной аккумуляции; 3 — линии предполагаемых погребенных разрывных нарушений

ющих пространств. Над палеодолинами возникают просадки, карст, повышенная трещиноватость в перекрывающих их породах. Нередко контуры палеодолин передают особенности современной речной сети. Современные водотоки располагаются чаще вблизи погребенных уступов долин и в том же направлении, а их боковые притоки могут сходиться в виде пучка или иметь резкие понижения и переуглубления. Как указывает И. А. Сычев, производивший специальные исследования в центральных районах Восточно-Европейской платформы, склоны современных долин со стороны погребенного уступа более крупные и имеют короткие прямолinéйные притоки, а притоки, впадающие с противоположной стороны, извилисты и большей протяженности. Для современных долин, ориентированных вкрест уступов, характерно их огибание или, наоборот, расширение долин и днищ водотоков. Активность современных эрозионных процессов на площади палеодолин значительно ниже, чем на прилегающих к ним участках, и поэтому овраги, промоины и борозды размыва обычно находятся за пределами погребенных долин (рис. 58).

Степень развития карста в районах неглубокого залегания карбонатных пород (обводненный; сухой) может служить указанием на направление погружения поверхности коренного ложа.

Перечисленные дешифровочные признаки или их комплекс позволяют вполне уверенно выявлять границы древних погребенных речных долин и озерных понижений. Погребенные уступы в свою очередь могут наследовать контуры локальных поднятий и впадин в фундаменте платформы.

В отношении изучения тектонических структур, контролирующего распространение полезных ископаемых, наиболее эффективно использование результатов дешифрирования неотектоники на закрытых районах при поисках нефтяных и газовых месторождений, поисках угля, месторождений строительных материалов, гидрогеологических и инженерно-геологических изысканиях. Значительную помощь аэроснимки могут оказать при изучении структурного контроля размещения полезных ископаемых в складчатом фундаменте.

Особенно много для изучения глубинного геологического строения дают снимки Земли, выполненные из космоса. Они обладают большой обзорностью и естественной генерализацией элементов ландшафта и геологического строения. Маскирующее влияние почвенного и растительного покрова на космических снимках резко уменьшается и главнейшие тектонические элементы земной коры выглядят на них отчетливо и выразительно. Отдельные структуры или их части, различимые на космических фотографиях, могут вытягиваться в линии или поясы, имеющие планетарные масштабы. Нередко на снимках удается обнаружить изображения глубоко погребенных структур, просвечивающих сквозь покровные образования.

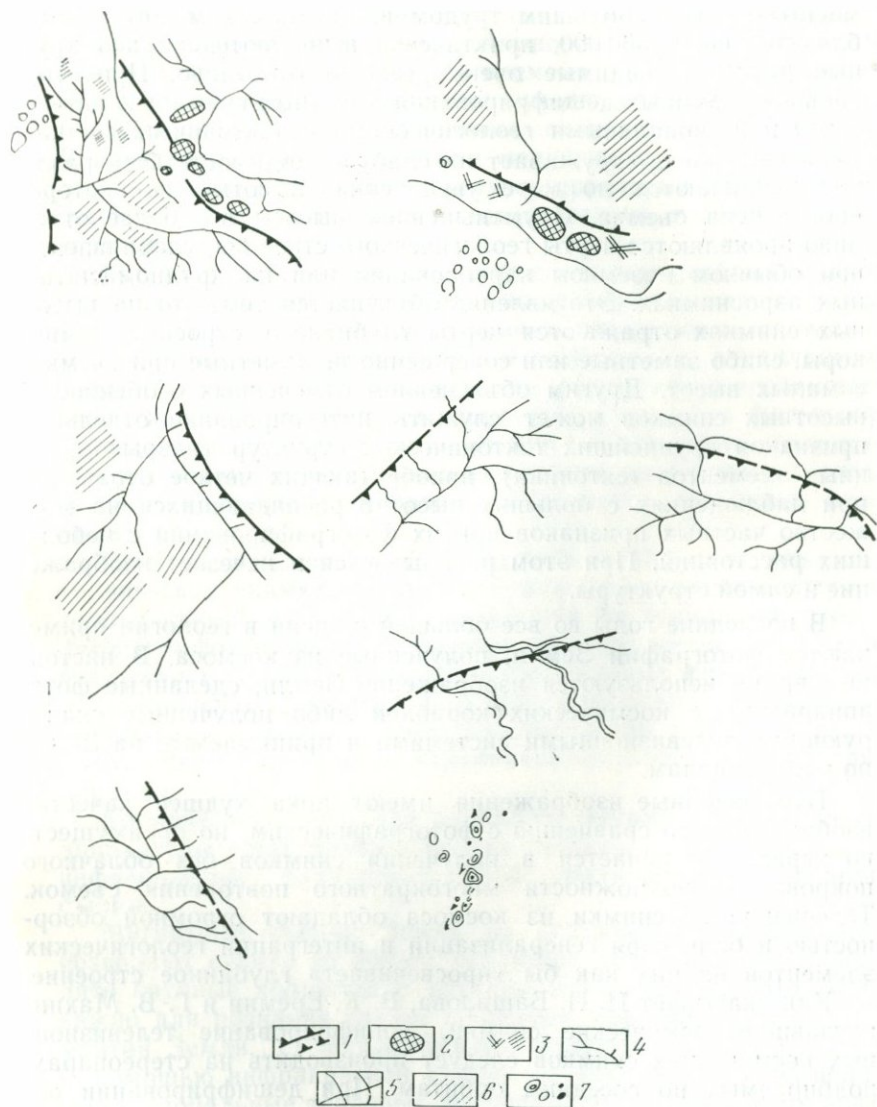


Рис. 58. Соотношения погребенных уступов с мезо- и микроформами рельефа (по И. А. Сычеву)

1 — структурно-денудационный погребенный уступ; 2 — структурно-денудационные останцы современного рельефа; 3 — реликты полигональной сети трещин; 4 — современная гидросеть; 5 — участки переуглубленного русла; 6 — площади проявления скрытых дельт или зачаточных углублений линейного размыва; 7 — карстовые воронки

На мелкомасштабных снимках (1 : 100 000 и мельче, до 1 : 5 000 000) залегание пород устанавливается по мере уменьшения масштаба все с большим трудом и, начиная с масштаба приблизительно 1 : 500 000, практически выявляются только крупные разрывы, видимые очень резко и отчетливо. При этом сравнение данных дешифрирования высотных снимков с детальными и региональными геологическими и тектоническими картами нередко обнаруживает их слабую сходимость. Эти различия усиливаются по мере увеличения высоты, на которой произведена съемка. С уменьшением высоты все более отчетливо проявляются черты геологического строения, улавливаемые при обычном наземном картировании или на крупномасштабных аэроснимках. Это явление объясняется тем, что на высотных снимках отражаются черты глубинного строения земной коры, слабо заметные или совершенно не заметные при съемках с малых высот. Другим объяснением отмеченных особенностей высотных снимков может служить интегрирование отдельных признаков крупнейших тектонических структур (разрывов или иных элементов тектоники), приобретающих четкое отражение при наблюдениях с больших высот и распадающихся на множество частных признаков при их фотографировании с небольших расстояний. При этом расплывается и исчезает изображение и самой структуры.

В последние годы во все большей степени в геологии применяются фотографии Земли, полученные из космоса. В настоящее время используются изображения Земли, сделанные фотоаппаратами с космических кораблей либо полученные сканирующими телевизионными системами и принимаемые на Земле по радиоканалам.

Телевизионные изображения имеют пока худшее качество изображения по сравнению с фотографическим, но преимущество первых заключается в получении снимков без облачного покрова и в возможности многократного повторения съемок. Телевизионные снимки из космоса обладают огромной обзорностью и благодаря генерализации и интеграции геологических элементов на них как бы «просвечивает» глубинное строение.

Как указывает И. И. Башилова, В. К. Еремин и Г. В. Махин, изучавшие космические снимки, дешифрирование телевизионных космических снимков следует производить на стереопарах, подбираемых по соседним орбитам. При дешифрировании отдельных снимков необходимо сопоставлять получаемые результаты с телефотосхемой, составленной из серии снимков по всему исследуемому району. Это позволяет точнее определить наиболее надежные дешифрировочные признаки и выделить крупнейшие геологические структуры.

При дешифрировании снимков горных областей Азии в масштабе 70 км в 1 см упомянутые выше авторы при изучении

и последующей геологической интерпретации результатов дешифрирования использовали контрастно-аналоговый метод, т. е. типологизацию полей со сходными и различными дешифрировочными признаками. Априорно предполагалось, что тождественные или сходные во времени и по условиям образования геологические структуры имеют одинаковый рисунок телефотонизображения, а различные отличаются друг от друга. Для интерпретации и проверки полученного «телефоторайонирования» геологических структур территории производилось сравнение с существующими геологическими и тектоническими картами.

Телефотонизображения на сверхмелкомасштабных снимках отражают особенности строения складчатого основания каждой крупной структурной области, причем последующее тектоническое развитие не затушевывает эти особенности, а накладывает лишь дополнительный отпечаток на ранее сформированные и продолжающие развиваться структуры. Используя фотонизображения, можно в значительной степени восстановить геологическую и тектоническую историю каждой геологической структуры, возраст складчатого основания и провести сравнение между ними.

В. И. Севастьянов, В. Е. Хаин и В. А. Ярмолюк, изучавшие космические снимки, пишут, что благодаря возможности повторных съемок из космоса одной и той же территории и сопоставлению фотографий, полученных в разное время, открываются возможности изучения динамики современных физико-географических явлений, разрушающего действия речных и морских вод, процессов, связанных с деятельностью ветра, процессов осадконакопления, современного вулканизма, последствий землетрясений и др.

Космические устройства позволяют помимо фотографической аппаратуры устанавливать на них приборы для производства инфракрасной, радиолокационной, радиотепловой и других съемок.

Магнитные съемки Земли из космического пространства позволяют судить об общем характере магнитного поля, выявлять крупные аномалии и изучать его вариации, что весьма важно для познания связей процессов, происходящих в ядре и мантии Земли, с тектоническими структурами земной коры. С помощью инфракрасной съемки устанавливаются региональные и глобальные тепловые аномалии. Эти съемки дают информацию о глубинных тепловых потоках Земли в районах активного вулканизма, в зонах глубинных разломов и иных крупнейших структурных элементах земной коры.

Радиолокационные и радиотепловые съемки позволяют регулярно изучать поверхность Земли независимо от погодных условий и получать дополнительную геологическую информацию о физических свойствах слагающих ее пород.

Результатом геологического дешифрирования космических снимков обычно являются карты структурных элементов земной коры, тектонические карты или карты тектонического районирования. Составление геологических карт по космическим снимкам чрезвычайно затруднено, так как при масштабах снимков $1 : 1\,000\,000$ — $1 : 3\,000\,000$ и обычном в этом случае визуальном разрешении в 100 — 300 м на местности дешифрируются не слои или пачки пород, а литолого-генетические комплексы или формации. При дальнейшем уменьшении масштаба снимков до $1 : 7\,000\,000$ — $1 : 10\,000\,000$ и разрешении в несколько километров на местности особенно хорошо распознаются крупные тектонические структуры. Появляется возможность путем дешифрирования космических снимков составлять тектонические или структурные карты не обычным способом обобщения и анализа геологических карт, а непосредственно, минуя стадию геологического картирования. Составленная таким путем тектоническая карта становится первичным, а не производным материалом.

Внедрение в геологические исследования изучения Земли из космоса позволило геологам подойти к пониманию и выявлению не установленных при наземных наблюдениях геологических структур, особенно планетарного масштаба, и оказать существенную помощь при изучении рудоконтролирующих структур и прогнозирования размещения полезных ископаемых в земной коре, а также на дне морей и океанов. Вместе с тем они не подменяют, а лишь дополняют наземные методы исследований.

Глава XIII

ПЕРЕНОС ОТДЕШИФРИРОВАННЫХ КОНТУРОВ С АЭРОСНИМКОВ НА ТОПООСНОВУ

Точность нанесения на топооснову всех достоверных границ должна быть не менее 2 мм в масштабе геологической съемки. Кроме того, границы должны быть правильно увязаны между собой, а также с гидрографией и орографией. Это требует соблюдения точности переноса контуров порядка 1 мм. Такую же точность должна иметь и сама топооснова, т. е. ею может служить или топографическая карта или выкопировка с нее с разреженной нагрузкой. Наименьшие допуски — не более $0,5$ мм в масштабе съемки — установлены при переносе положения буровых скважин и важнейших горных выработок. Сопоставляя эти требования с геометрическими искажениями, присутствующими в аэроснимкам, легко видеть, что визуальный перенос контуров и простое пантографирование, как правило, не обеспечивают требуемой точности. Для ее достижения разработаны различные способы и приборы.

Одна группа способов предусматривает использование фотоосновы, т. е. уточненных или приведенных фотосхем, фотопланов, ортофотопланов и фотокарт (см. главу I).

Поскольку окончательная геологическая карта не должна иметь фотоизображения, фотооснова является промежуточным материалом. Отдешифрированные на аэроснимках контуры гораздо легче перенести на фотооснову, чем на топокарту, так как локально вблизи каждой точки она идентична аэроснимку. Переход от фотоосновы к топокарте также значительно более прост, чем перенос контуров непосредственно со снимков, и происходит без потери точности, поскольку плановое положение точек на фотооснове то же, что и на топокарте.

Другая группа способов, называемых инструментальными, основана на применении рисовальных или стереофотограмметрических приборов, имеющих устройство для автоматической рисовки стереоскопически наблюдаемых контуров.

Перенос контуров с использованием фотоосновы

Контуры, вычерченные на аэроснимках, переносят на фотооснову или стереоскопически, или монокулярно, т. е. без использования стереоэффекта.

Монокулярный перенос не требует никаких приборов. Он состоит в перерисовке данных с каждого из аэроснимков на фотооснову на глаз, по идентичным контурам фотоизображения.

Стереоскопический перенос ведется с помощью стереоскопа, компенсирующего различие масштаба аэроснимков и топоосновы. Под таким стереоскопом наблюдатель видит вычерченные на аэроснимке контуры наложенными на модель местности и просто обводит их на фотооснове. Стереоскопический перенос более точен и производительен, чем монокулярный. Он применим в случаях, когда часть отдешифрированных на аэроснимках данных визуально не отождествляется на фотооснове, и при низком фотокачестве последней, т. е. в условиях, когда монокулярный перенос практически не осуществим.

Монокулярный и особенно стереоскопический перенос контуров на фотооснову затруднен, если аэроснимки сильно забиты густым крапом, раскраской, пометками на лицевой стороне. Это следует учитывать при дешифрировании.

Фотооснова позволяет одновременно наблюдать фотоизображение всей картируемой трапеции и вследствие этого имеет большую обзорность, чем отдельные аэроснимки или стереопары. Поэтому ее используют не только как промежуточный материал для переноса контуров, но и непосредственно для дешифрирования.

Фотооснову нужно иметь в достаточном количестве экземпляров в масштабах составления полевых и окончательных карт,

а при отсутствии стереоскопов, компенсирующих различные масштабы, и в масштабе аэросъемки. При наличии фотопланов или фотокарт на трапеции, соседние с картируемой, полезно иметь их копии в масштабе картирования и сводную репродукцию ряда листов в более мелком масштабе.

Карты предварительного дешифрирования и полевые карты целесообразно составлять на фотооснове без последующего переноса на топооснову. При этом часть контуров дешифрируется непосредственно на фотооснове, а объекты, интерпретация которых требует более крупного масштаба фотоизображения и стереонаблюдения,— на аэроснимках с последующим переносом на нее.

Для составления окончательной карты данные дешифрирования, сведенные на фотооснове, переносят на топооснову с помощью оптических проекторов. (Этот процесс будет рассмотрен позже.) При отсутствии таких приборов контуры с фотоосновы копируют на кальку и затем на топооснову (например на световом столе). Однако точность при этом уменьшается, а трудоемкость значительно увеличивается. Существует возможность составления окончательной карты и на фотооснове, с последующим удалением фотоизображения с нее в специальных растворах. Это наиболее выгодно при работе с фототопопланами, т. е. с фотопланами, на которых заранее нанесены разреженные горизонтали и некоторые опознаки с топокарты. На другие виды фотоосновы эту нагрузку приходится переносить с топокарты с помощью тех же приборов и процессов, что и при переходе от фотоосновы к топооснове.

Укажем факторы, влияющие на целесообразность использования фотоосновы или отказа от нее в пользу других методов дешифрирования и составления геологических карт.

1. Рельеф местности. Изготовление высококачественной фотоосновы для горных районов пока еще не всегда возможно. Вследствие этого с увеличением превышений целесообразность использования фотоосновы уменьшается, а роль инструментальных способов переноса возрастает.

2. Сложность привязки к топокарте. Фотооснова наиболее целесообразна в однотонных, бедных контурами районах, так как на отдельных аэроснимках таких районов трудно или невозможно опознать точки топокарты, что необходимо для применения инструментальных способов переноса.

3. Геологическая нагрузка. При сложном геологическом строении нагрузка составляемых карт может быть очень большой, фотоизображение под ней читается плохо и может только препятствовать восприятию геологических данных. В этом случае более рациональны инструментальные способы переноса контуров.

4. Масштаб аэросъемки. Чем он мельче, тем в боль-

шей степени требуется наблюдение увеличенной стереомодели, тем больше обзорность отдельных аэроснимков и меньше их число, тем, следовательно, меньшее значение имеют затраты времени на ориентирование каждой стереопары в стереоприборе и тем труднее наносить детали дешифрируемых объектов непосредственно на аэроснимки. Поэтому, чем мельче масштаб аэросъемки, тем рациональнее инструментальное дешифрирование на универсальных стереоприборах и стереоскопах со значительным увеличением и тем менее оправдано использование фотоосновы.

5. Наличие фотоосновы и приборов. Очевидно, что при наличии готовых фотопланов (фотокарт) или при отсутствии приборов для переноса контуров роль фотоосновы возрастает. Следует также иметь в виду, что изготовление фотоосновы может оказаться невозможным из-за отсутствия аэрофильма, соответствующего оборудования, специалистов и т. д.

Стереоскопы для переноса контуров с аэроснимков на фотооснову. Масштаб аэроснимков и фотоосновы, как правило, различен. Вследствие этого для стереоскопического переноса контуров подходят только стереоскопы, позволяющие компенсировать такую разномасштабность. К ним относятся стереоскоп ЗЛС-2 и стереоскоп Баштана, сконструированные специально для переноса контуров, стереоскопы ЗС и СЗС, интерпретоскоп и стереопантометр.

Стереоскоп ЗЛС-2 состоит из зеркально-линзового стереоскопа ЗЛС-1, имеющего в отличие от обычного пазы для установки дополнительных линз, подъемного столика для аэроснимка, позволяющего менять расстояние от него до глаза наблюдателя и фиксировать это расстояние на шкале, набора диоптрийных стекол (линз).

Работа на ЗЛС-2 производится следующим образом. Стереоскоп устанавливают на столе над фотоосновой, наблюдаемой правым глазом. Аэроснимок того же участка помещают на подъемный столик и наблюдают левым глазом. Вращая винт подъемного столика, устанавливают аэроснимок на такой высоте, чтобы угловые размеры изображенных на нем объектов сравнялись с угловыми размерами идентичных объектов фотоосновы, т. е. чтобы левое и правое фотоизображения представлялись бы одномасштабными. После этого стереоскопическому восприятию препятствует лишь различная аккомодация левого и правого глаза, вызванная разными расстояниями до наблюдаемых объектов. Это препятствие устраняется соответствующим диоптрийным стеклом, вставляемым в левую обойму стереоскопа. Для ускорения работы к прибору прилагается таблица, в которой указано, какую высоту столика следует устанавливать и какую из линз вставлять в зависимости от отношения масштаба аэроснимка к масштабу фотоосновы.

Достигнув стереозффекта, наблюдатель видит вычерченные на аэроснимке контуры наложенными на модель местности и поднимает (обводит) их на фотооснове. В процессе стереоскопического переноса контуров необходимо периодически смещать аэроснимок относительно топоосновы, добиваясь четкого стереозффекта на обрабатываемой части стереомодели. Это гарантирует точность переноса порядка 0,2—0,5 мм. При нарушении стереозффекта ошибки возрастают до 1—2 мм и более.

Изложенный процесс подходит для переноса контуров с аэроснимка, масштаб которого мельче масштаба фотоосновы. В противном случае приходится поднимать над столом не аэроснимок, а фотооснову, причем поднимать таким образом, чтобы на ней можно было бы вести рисовку. Приспособлений для этого ЗЛС-2 не имеет; однако если максимально поднять его над столом с помощью удлинительей (входящих в комплект прибора) и установить фотооснову в нужное положение с помощью каких-либо подкладок, то перенос контуров на фотооснову, масштаб которой до полутора раз мельче масштаба аэроснимков, возможен. Поскольку это не вполне удобно, перенос контуров с аэроснимков, масштаб которых крупнее масштаба топоосновы, предпочтительно вести на стереоскопе Баштана. Как и ЗЛС-2, он основан на принципе изменения расстояния до аэроснимка и компенсации этого диоптрийными стеклами согласно таблице, входящей в комплект прибора. Однако в этом стереоскопе аэроснимок находится на каретке, которая вместе с зеркалом, поворачивающим визирный луч на 90° , сдвигается вдоль направляющих в горизонтальном направлении. Вследствие этого аэроснимок легко может быть «удален» от наблюдателя более, чем фотооснова. В настоящее время стереоскоп Баштана серийно не выпускается. Оба рассмотренных стереоскопа достаточно просты в обращении и портативны.

Стереоскопы ЗС и СЗС (см. главу III), не предназначенные специально для переноса контуров на фотооснову, но позволяющие выполнять этот процесс, тоже работают по принципу изменения расстояния до аэроснимка и установки в одной из ветвей оптической системы дополнительного диоптрийного стекла. Линзы в них устанавливаются, как и в рассмотренных стереоскопах, по таблице, но изменение расстояний осуществляется подбором.

На интерпретоскопе получение стереозффекта по разномасштабным фотоизображениям не составляет труда, так как в нем предусмотрено изменение увеличения от $2\times$ до $15\times$ независимо для левой и правой ветви оптической системы. При этом фотоизображение всегда представляется расположенным в плоскости наилучшего зрения.

На стереопантометре уравнивание масштабов достигается с помощью набора диоптрийных стекол, входящих в комплект прибора. Допустимое отношение масштабов от 0,8 до 1,7, на-

пример фотоплан масштаба 1:25 000 можно стереоскопически наблюдать совместно с аэроснимком масштаба от 1:20 000 до 1:42 000. Некоторые экземпляры стереопантометра не имеют диоптрийных стекол. Если работать только с бинокляром, то их отсутствие можно компенсировать соответствующей фокусировкой окуляров. Это обеспечивает перенос с увеличением или уменьшением до 1,5×.

Рисовальные приборы для переноса данных с одиночных аэроснимков

Рисовальный прибор ЛЮЦ. Простые и транспортабельные рисовальные приборы, рассчитанные на перерисовку данных дешифрирования с одиночного аэроснимка (т. е. без стереоскопического наблюдения), давно выпускаются во многих странах, причем конструкция рисовальных приборов разных фирм практически одинакова. Вследствие этого мы подробно остановимся лишь на рисовальном приборе ЛЮЦ (LUZ, Luftbildumzeichner, камера-клара), выпускаемом фирмой Карл Цейсс Йена (ГДР), так как он имеет наибольшее распространение в СССР.

Прибор (рис. 59) предназначен для переноса контуров с одиночного аэроснимка равнинной или всхолмленной местности на топооснову. При работе на ЛЮЦ наблюдатель смотрит в окуляр прибора и видит совмещенное изображение топоосновы, лежащей на столе, и аэроснимка, укрепленного в вертикальной плоскости на специальном держателе. Обводя на основе изображение контуров аэроснимка, он, тем самым, переносит их. Разномасштабность аэроснимка и топоосновы компенсируется изменением расстояний от окуляра до снимка и до топоосновы; резкость обоих изображений достигается подбором диоптрийных стекол; яркость изображений выравнивается движениями осветителя и применением фильтров. При максимальном увеличении на топооснову проектируется участок снимка размером 11×11 см, при переносе без изменений масштаба 24×24 см и при работе на уменьшение 30×30 см. Прибор позволяет переносить контуры с уменьшением до 2,5× и с увеличением до 2,7×. Эти пределы можно расширить, если поднять или опустить топооснову относительно плоскости основания прибора

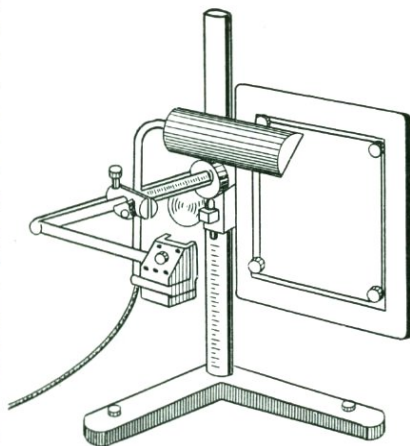


Рис. 59. Рисовальный прибор ЛЮЦ

(в плоскости стола). В первом случае достигается большее уменьшение, во втором — увеличение.

ЛЮЦ можно использовать в полевых условиях и в качестве оптического редуктора, т. е. для масштабирования геологических карт, составленных на других приборах, для масштабирования при составлении крупномасштабных врезок и для репродуцирования (копирования) картоматериалов.

Выбор опознаков. Для переноса отдешифрованных контуров требуются опознаки, т. е. точки, которые надежно опознаются на топокарте и аэроснимке и могут быть наколоты на них с графической точностью.

Рассмотрим различные случаи рационального размещения опознаков для переноса контуров в равнинной местности.

1. Если на топокарте много надежных контуров и выбор опознаков не представляет трудностей, то на каждом аэроснимке следует использовать пять опознаков, расположенных по углам рабочей зоны и вблизи центра снимка (рис. 60).

2. Если реализовать предыдущую схему не удастся, то выбирают не менее трех опознаков, расположенных по краям рабочей зоны и удаленных друг от друга на 10 см или более (рис. 60 б, в). Масштабирование и ориентирование топоосновы существенно упрощается, если середина отрезка, соединяющего два из них, проходит вблизи центра снимка (рис. 60, б). При отсутствии центрального опознака центр аэроснимка переносят на топокарту способом обратной засечки. С этой целью после нанесения опознаков на снимок и на топокарту накладывают на снимок кальку, отмечают на ней положение центра снимка и проводят от него лучи, проходящие через каждый из опознаков. Затем кальку накладывают на топокарту так, чтобы каждый луч проходил через соответствующий опознак топокарты. После этого точку пересечения прямых перекальвают с кальки на топокарту. Это и есть точка, идентичная центру аэроснимка.

3. Когда аэросъемка выполнена с гиросtabilизацией или же без гиросtabilизации, но в масштабе, который не мельче указанного в табл. 9, допустим перенос контуров по любым двум опознакам, расположенным в рабочей зоне снимка, на расстоянии не менее 6 см друг от друга. Такой перенос приводит к ошибкам порядка 1 мм (без учета влияния рельефа), и его следует применять только на тех аэроснимках, где не удастся выбрать ни центрального опознака, ни трех крайних.

Перенос контуров по двум опознакам. 1. ЛЮЦ устанавливают на лист, имеющий сетку квадратов (миллиметровка, лист клетчатой бумаги и т. д.). Второй подобный лист закрепляют на снимкодержателе. Наблюдая в окуляр оптической головки, совмещают линии обоих листов. При их параллельности прибор можно считать готовым к работе. В противном случае открепляют зажим снимкодержателя и, слегка наклоняя его, добива-

Минимальные масштабы аэрофотосъемки (без гиростабилизации), при которых перенос на ЛЮЦе допустим по двум опознакам (в зависимости от фокусного расстояния АФА и масштаба геологического картирования)

M_k	f			
	70 мм	100 мм	140 мм	200 мм
1:10 000	1:5 000	1:7 000	1:10 000	1:15 000
1:25 000	1:12 000	1:17 000	1:25 000	1:35 000
1:50 000	1:25 000	1:35 000	1:50 000	1:70 000
1:100 000	1:50 000	1:70 000	1:100 000	1:140 000
1:200 000	1:100 000	1:140 000	1:200 000	Не огр.

Примечания. 1. Таблица рассчитана для АФА формата 18×18 см.

2. При $f=50$ мм всегда требуется более двух опознаков, а при $f=350$ мм всегда достаточно двух.

ются параллельности изображения как горизонтальных, так и вертикальных прямых обоих листов. В этом положении зажим закрепляют.

2. Измеряют расстояния s_k и $s_{сн}$ между опознаками на карте и на снимке и вычисляют отношение масштабов v :

$$v = s_k : s_{сн} \quad (48)$$

3. Из таблицы, прилагаемой к прибору, по величине V находят отсчеты b и k и устанавливают их соответственно на горизонтальной и вертикальной шкалах ЛЮЦ. По той же таблице находят нужные номера (количество диоптрий) линз и вставляют эти линзы в вертикальную и горизонтальную прорези оптической головки прибора.

4. В снимкодержатель устанавливают снимок, а на столе топооснову. Глядя в окуляр и перемещая топооснову, совмещают опознаки с их проекциями со снимка. Если это не удается, т. е. масштабы отрезков, соединяющих опознаки на топооснове и на проекции снимка не совпадают, нужно слегка изменить отсчет по вертикальной шкале, т. е. сдвинуть прибор вверх или вниз. Добившись совмещения обоих опознаков, топооснову закрепляют.

5. На топооснову переносят центр аэроснимка и все нужные контуры. Перед тем, как сменить снимок на следующий, проверяют стабильность положения прибора и топоосновы во время рисовки: все отрисованные контуры должны совпадать с проектируемыми.

Перенос контуров по трем-пяти опознакам. При наличии трех-четырех опознаков дополнительным опознаком всегда служит центр аэроснимка, перенесенный на топооснову обратной засечкой. Таким образом, речь идет о масштабировании и ориентировании топоосновы по четырем-пяти точкам, из которых

одна — центральная, а остальные расположены на концах приблизительно перпендикулярных отрезков, пересекающихся вблизи центральной точки ($60, a, б$), или просто удалены друг от друга и от первой точки на значительные расстояния (рис. 60, в). Рассмотрим сначала установку масштаба и ориентирование топоосновы для случая (рис. 60, б), когда имеется четыре

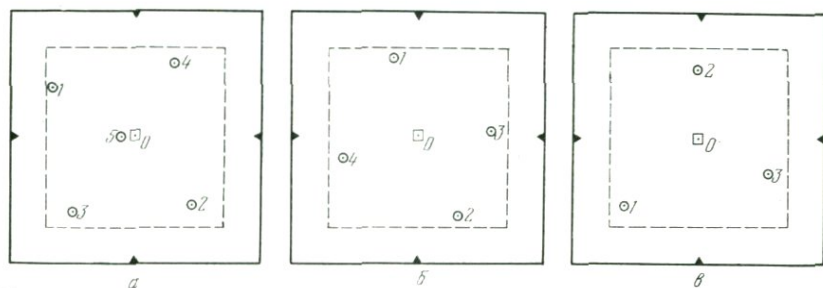


Рис. 60. Варианты расположения опознаков на аэрофотоснимке. Штриховой линией ограничена рабочая площадь снимка

опознака, на топооснову перенесен центр снимка o и середина хотя бы одного из отрезков $1—2$ или $3—4$ близка к этому центру. Для определенности будем считать, что это середина отрезка $1—2$. В этом случае порядок работы следующий.

1. Как и в предыдущем подразделе, по отношению длин отрезков $1—2$ на топооснове и снимке находят коэффициент v и устанавливают нужные отсчеты на шкалах прибора и нужные линзы в его оптической головке.

2. Закладывают снимок в снимкодержатель, а основу ориентируют на столе до совпадения опознаков 1 и 2 с их проекциями. Если нужно, уточняют масштабирование, слегка меняя отсчет на вертикальной шкале.

3. Если центр o и опознаки 3 и 4 совпали со своими проекциями, то можно переносить контуры. Если нет, то открепляют зажим снимкодержателя и, наклоня снимок в направлении $1—2$ и сдвигая топооснову, добиваются совпадения точек $1, 2$ и o с их проекциями, затем наклоняют его в направлении, перпендикулярном $1—2$, до тех пор, пока с проекциями не совпадут опознаки 3 и 4 . При необходимости процесс масштабирования повторяют. После совпадения всех точек с их проекциями снимкодержатель закрепляют и приступают к рисовке.

Совершенно аналогично масштабируют при расположении опознаков, изображенных на рис. 60, а, но вместо центра снимка используют пятый опознак. Тот же порядок масштабирования сохраняется и в случае, когда опознаки $1, 2$ и 3 расположены, как на рис. 60, б, а четвертый опознак отсутствует. Он яв-

ляется контрольным и невязка на нем устраняется тем же наклоном, что и на опознаке 3.

В случае, изображенном на рис. 60, в, масштабирование требует нескольких приближений. Порядок работы следующий.

1. Коэффициент v находят по отрезкам 1—2, 1—3 и 2—3 и устанавливают линзу и отсчеты по шкалам по среднему из полученных значений.

2. Закладывают в прибор снимок и топооснову и добиваются совмещения той пары опознаков, у которых середина соединяющего их отрезка ближе к центру снимка (пусть для определенности это опознаки 1 и 2).

3. Открепляют зажим снимкодержателя, наклоняют снимок в направлении 1—2 и сдвигают основу так, чтобы опознаки 1 и 2 совпадали со своими проекциями, а точка o или тоже совпадала, или отклонялась от своей проекции только поперек отрезка 1—2.

4. Сдвигают топооснову до совпадения точки o с ее проекцией и наклоняют снимкодержатель в направлении, перпендикулярном 1—2, до совпадения точки 3. Если опознаки 1—2 разошлись со своими проекциями, подправляют отсчет по вертикальной шкале до их совпадения.

5. Повторяют процесс (иногда несколько раз) до совмещения центра и всех опознаков, после чего закрепляют снимкодержатель и переносят контуры.

Перенос контуров в безориентирной местности. Если допустим перенос контуров по двум опознакам, но и их не удастся выбрать на каком-либо снимке, то его можно «вставить» между соседними снимками, обеспеченными опознаками. С этой целью в процессе переноса контуров с левого соседнего снимка отмечают на карте положение двух точек, отождествляемых на «вставляемом» снимке. Аналогично поступают при переносе контуров с правого соседнего снимка. Вставляемый снимок устанавливают, совмещая четыре отмеченные точки топоосновы с их проекциями со снимка и усредняя невязки в случае их возникновения. Аналогичная вставка одного снимка между двумя, имеющими опознаки, допустима и при работе с тремя и более опознаками. В этом случае точки, перенесенные с таких снимков, служат опознаками вставляемого, по ним на топооснову наносят его центр и устанавливают вставляемый снимок согласно указанному выше.

Если аэроснимки гиросtabilизированы, а их масштаб не мельче указанного в табл. 9 и для любых аэроснимков, масштаб которых в 1,5 раза и более крупнее указанного в этой таблице, допустима вставка двух аэроснимков между снимками с опознаками. В этих случаях каждый из вставляемых снимков масштабируют по двум точкам, опознанным на границе со снимками, имеющими опознаки. Невязки, возникающие на этой границе,

устраняют, считая положение контуров на снимке, имеющем опознаки, безошибочным. Невязки между вставляемыми снимками усредняют. Вставки можно производить как между снимками одного маршрута аэросъемки, так и между маршрутами, по нижней и верхней границе рабочей зоны вставляемого снимка.

Если опознаков не хватает даже при изложенной методике, составлять карту на ЛЮЦе нельзя.

Перенос контуров по зонам. Изложенные способы переноса применимы лишь, когда превышения в пределах рабочей зоны аэроснимка не превосходят указанных в табл. 10 (таблица рассчитана исходя из предельной ошибки 1 мм в масштабе геологического картирования). Перенос контуров по двум опознакам без учета рельефа допустим, если превышения в пределах аэроснимка в два и более раза меньше табличных.

Если превышения на аэроснимке не превосходят удвоенных табличных значений (при использовании трех и более опознаков) или не превышают табличные (при работе по двум опознакам), то в положение каждого опознака на аэроснимке нужно вводить поправку за рельеф. Это делается следующим образом.

1. После нанесения опознаков на топокарту (разреженная топооснова не годится), на ней находят отметки A_{\max} и A_{\min} самой высокой и самой низкой точек, попадающих в рабочую зону аэроснимка. Вычисляют средний уровень

$$A_{\text{ср}} = 0,5(A_{\max} + A_{\min}) \quad (49)$$

и превышения опознаков над этим уровнем:

$$h_i = A_i - A_{\text{ср}}, \quad (50)$$

где A_i — отметка опознака, снятая с топокарты.

2. Выписывают из паспорта залета высоту аэросъемки H и вычисляют поправки за рельеф (см. главу II):

$$\Delta r_i = r_i \frac{h_i}{H}, \quad (51)$$

где r_i — расстояние опознака от центра аэроснимка.

3. Каждый опознак на аэроснимке сдвигают вдоль прямой, соединяющей его с центром снимка на соответствующее расстояние Δr_i в направлении к центру аэроснимка, если $\Delta r_i > 0$, или от центра, если $\Delta r_i < 0$. Масштабирование и ориентирование выполняют, как изложено выше, но это делают по точкам, полученным после сдвига опознаков на величину Δr_i .

Если превышения еще больше, то требуется перенос контуров по зонам, т. е. на карте по горизонталям выделяют зоны, в пределах каждой из которых контуры можно переносить только изложенным способом, по опознакам, исправленным за превышение над средним уровнем зоны. Пусть, например, при

картировании масштаба 1 : 50 000 нужно перенести контуры с аэроснимка, снятого с $f=100$ мм, имеющего четыре опознака и изображающего местность с $A_{\min}=350$ м и $A_{\max}=630$ м. В этом примере наибольшее превышение 280 м, а допустимое (при введении поправок в опознаки) — 170 м. Поэтому переносить контуры без деления на зоны нельзя. Поскольку $(280 : 170) < 2$, достаточно переносить их по двум зонам. В качестве границы зон выбирают горизонталь, соответствующую уровню A_0 , близкому к $A_{\text{ср}}$, например $A_0=500$ м. Эту горизонталь поднимают на карте. На участки карты, лежащие ниже уровня A_0 (т. е. в первой зоне), контуры переносят по опознакам, в которые вводят поправки, соответствующие превышениям,

$$h_{1i} = A_i - 0,5(A_{\min} + A_0). \quad (52)$$

Для переноса контуров на остальной площади, т. е. во второй зоне, в опознаки вводят поправки, соответствующие превышениям,

$$h_{2i} = A_i - 0,5(A_{\max} + A_0). \quad (53)$$

Аналогично можно переносить контуры, деля площадь, изображенную на аэроснимке, на большее число зон. Однако если требуется более трех зон, то значительно целесообразнее применять приборы, рассчитанные для работы с горными участками, т. е. РП-2, или универсальные стереоприборы.

Перенос контуров с увеличенных аэроснимков. Контуры с увеличенных снимков практически всегда переносят, уменьшая масштаб изображения, а при работе на уменьшение ЛЮЦ проектирует площадь до 30×30 см. Это позволяет использовать его для переноса контуров с увеличенных аэроснимков, формат которых больше обычного. У снимков, увеличенных не более чем в 2 раза, в этот формат укладывается вся рабочая зона и контуры с них переносятся точно так же, как с обычных снимков. Масштабирование увеличенных снимков по двум опозна-

Таблица 10

Наибольшие превышения h (в метрах) в пределах аэроснимка, которые можно не учитывать при переносе контуров на ЛЮЦ (в зависимости от масштаба картирования и фокусного расстояния АФА)

f	M				
	1:10 000	1:25 000	1:50 000	1:100 000	1:200 000
55	10	25	45	90	175
70	12	30	60	125	250
100	18	45	90	175	350
140	25	60	125	250	500
200	35	85	175	350	700
350	35	140	275	550	1100

кам допустимо, если масштаб соответствующего аэрофильма (а не увеличенного снимка) не мельче указанного в табл. 9. Вопрос о влиянии рельефа при работе с увеличенными снимками решают с помощью табл. 10, т. е. тоже независимо от коэффициента увеличения.

Оптические проекторы. Редуцирование и масштабирование карт

Универсальный топографический проектор УТП-1. Устройство и применение оптических проекторов рассмотрим на примере многоцелевого отечественного прибора УТП-1. Универсальный топографический проектор (рис. 61) состоит из станины с экраном; проектора с кассетой и объективом, проектирующим нахо-

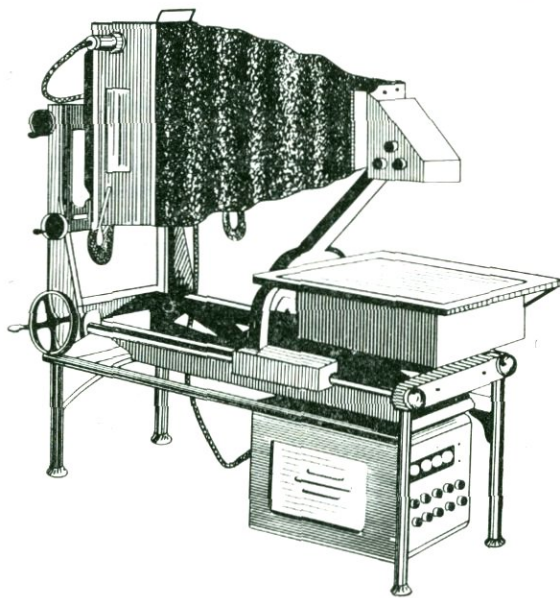


Рис. 61. Универсальный топографический проектор УТП-1

дящийся в кассете оригинал на экран; системы автоматической фокусировки изображения на экране; системы масштабирования и наклонов кассеты относительно экрана. Как и в обычном фотоувеличителе, являющемся наиболее простым оптическим проектором, оригинал проектируется в нужном масштабе на экран и может быть отпечатан на фотобумагу или же перенесен путем обводки контуров на какую-либо основу (топокарту, ватман и т. д.). Диапазон изменения масштаба оригинала — от $4\times$ уменьшения до $4\times$ увеличения. Это позволяет, например, перенести контуры с аэроснимков масштаба $1:25\,000$ — $1:40\,000$ на

топографические карты любого масштаба от 1:10 000 до 1:100 000.

Прибор работает как на отражение, так и на просвет, т. е. в кассету можно заложить и непрозрачные материалы — аэроснимок, фотооснову, карту и прозрачные, например кальку или фотопленку. Толщина подложки проектируемого материала может достигать 10 мм. Размер оригинала до 60×100 см, но одновременно проектируется участок порядка 40×40 см. Размер экрана 40×60 см. В приборе использованы люминесцентные лампы, обеспечивающие хорошую передачу цветного изображения.

Применение УТП-1 для переноса данных дешифрирования с аэроснимков на топооснову. Возможности и методика переноса контуров с аэроснимка на топооснову с помощью УТП-1 аналогичны возможностям и методике при работе на ЛЮЦ. Прибор позволяет приближенно путем наклона проектирующей системы исправить искажения за наклон аэроснимка (т. е. трансформировать снимок). Исправление производится более точно, чем наклоном снимкодержателя ЛЮЦ. Фотограмметрических искажений, вызванных рельефом местности, УТП-1, как и другие оптические проекторы, не исправляет. Вследствие этого он предназначен в основном для обработки аэроснимков равнинных районов. Максимальные превышения в пределах снимка, при которых еще можно не учитывать влияние рельефа, те же, что и при работе на ЛЮЦ.

Перенос на УТП-1 ведется по опознакам, причем требования к числу и расположению опознаков точно те же, что и при использовании ЛЮЦ. Точно так же возможна «вставка» отдельных снимков, которые не удастся привязать к топокарте (т. е. на которых нет достаточного числа опознаков), также, в случае необходимости, вводится в положение опознаков поправка за рельеф и ведется перенос контуров по зонам. Однако, совместив проекцию опознаков аэроснимка, заложенного в кассету УТП-1, с опознаками топоосновы, лежащей на его экране, наблюдатель видит положение отдешифрированных контуров на топооснове непосредственно, а не через окуляр. Вследствие этого, а также из-за большего размера проектируемого участка, автоматической фокусировки и лучших условий освещения, перенос на УТП-1 значительно более производителен и удобен, чем на ЛЮЦ. В камеральных условиях рационально применять именно этот, стационарный прибор, а в экспедиционных — ЛЮЦ.

Применение УТП-1 для переноса нагрузки карт, составленных на фотооснове или на ватмане, на топооснову. Карты, составленные на фотографической основе или на ватмане, пластике и т. д., геометрически подобны (в пределах требуемой точности) топографической карте. Вследствие этого рассматри-

заемый процесс, называемый также редуцированием карт, производится при нулевом наклоне проектора, т. е. в положении, при котором сетка квадратов оригинала переводится в сетку квадратов на экране. Редуцирование обычно выполняется по опознакам, причем на листе редуцируемого материала достаточно иметь два основных опознака, проекции которых на экране прибора совмещают с идентичными опознаками топоосновы, меняя соответствующим образом масштаб проектирования и положение топоосновы на экране. Во избежание грубой ошибки, после совмещения основных опознаков правильность установки масштаба и топоосновы проверяют или по одному-двум контрольным опознакам, или же по сходимости идентичных контуров проектируемого изображения и топоосновы.

В принципе можно редуцировать вообще без опознаков — только по идентичным контурам редуцируемого оригинала и топоосновы. Именно такой способ дает возможность наилучшего распределения остаточных невязок. Однако широко рекомендовать его нельзя, так как точность результата не поддается предрасчету и сильно меняется в зависимости от количества и надежности топографических контуров на трапеции, а также от опыта исполнителя. Карты, составленные на фотооснове, и иные материалы, имеющие точно нанесенные рамки трапеции, можно редуцировать, совмещая проекцию рамок с рамками топоосновы. Правильность такого редуцирования обязательно проверяется по контурам или опознакам.

Добившись совмещения идентичных точек или контуров, закрепляют положение топоосновы и обводят на ней контуры геологической нагрузки редуцируемого материала. Поскольку окончательное вычерчивание геологической карты должно сопровождаться увязкой и редактированием, контуры на экране УТП-1 рекомендуется обводить легкими карандашными линиями. Работа по переносу данных дешифрирования в пределах целой трапеции или значительной ее части требует большой тщательности и определенного порядка работы, гарантирующего от пропуска контуров.

Перенос контуров с аэроснимков не на топооснову, а на фотооснову, ватман и т. д., т. е. на промежуточные материалы следует рекомендовать в тех случаях, когда масштаб аэросъемки много крупнее масштаба геологического картирования. Перенос с использованием фотоосновы рационально вести на УТП-1 или ЛЮЦ. Пусть, например, при геологической съемке масштаба 1 : 50 000 требуется перенести на топооснову того же масштаба данные полевого дешифрирования с аэроснимков масштаба 1 : 13 000. В этом случае площадь трапеции масштаба 1 : 50 000 изображена примерно на 12 маршрутах аэросъемки по 25 аэроснимков в части каждого маршрута, проходящегося на трапецию. Если снимки отдешифрированы через один, то непосредст-

венный перенос требуется с $13 \times 12 = 156$ снимков, на которых нужно найти и отождествить с топокартой более трехсот опознаков.

При наличии фотоосновы, например, четырех фотопланов масштаба $1 : 25\ 000$, составляющих трапецию масштаба $1 : 50\ 000$, гораздо производительнее сначала перенести данные дешифрирования с аэроснимков на эти фотопланы (применяя монокулярный перенос или какой-либо стереоскоп для переноса на фотооснову), а затем нанести на фотопланы восемь основных опознаков и несколько дополнительных и перенести контуры с четырех фотопланов на топооснову. Если привязка отдельных аэроснимков к топокарте (т. е. выбор опознаков) затруднена или невозможна, то перенос данных с использованием фотоосновы оказывается особенно продуктивным.

Составление геологических карт на стереофотограмметрических приборах ведут как на топооснове, так и на ватмане с последующим редуцированием. Такие карты часто бывают составлены по отдельным маршрутам аэросъемки, причем каждый маршрут обеспечивается двумя основными и 1—2 контрольными опознаками, положение которых отмечается на соответствующей полосе ватмана и на топооснове. В этом случае смысл промежуточного составления состоит в его стереоскопичности, улучшающей условия интерпретации, и опять-таки в значительном уменьшении общего количества опознаков (в рассмотренном выше примере для редуцирования по отдельным маршрутам требуется 24 основных и по 24 дополнительных опознаков).

Если размер редуцируемого материала велик, то его нельзя спроектировать на экран УТП-1 целиком и редуцирование приходится вести по частям, обеспечивая их дополнительными опознаками. Если это затруднительно, то можно соединить исходные опознаки отрезком и считать дополнительными опознаками на редуцируемом материале и на топооснове точки деления этого отрезка на две, три или более равные части.

Масштабирование и репродуцирование картоматериалов. Кроме рассмотренных выше процессов, универсальный топографический проектор предназначен для выполнения различных репродукционных работ. Среди них отметим масштабирование, т. е. репродуцирование, карты, выкопировки, имеющие известный масштаб $1 : m$, в заданный масштаб $1 : m'$ без помощи опознаков. Это делается следующим образом. Вблизи углов масштабируемого картоматериала выбирают четыре контурные точки, измеряют длины l_1 и l_2 диагоналей образуемого ими четырехугольника и вычисляют длины l'_1 и l'_2 идентичных отрезков в масштабе $1 : m'$:

$$l'_1 = \frac{m}{m'} l_1, \quad l'_2 = \frac{m}{m'} l_2. \quad (54)$$

Далее закладывают масштабируемый материал в кассету прибора и проектируют его при нулевом наклоне проектора в таком масштабе, при котором диагонали l_1 и l_2 имеют длины изображения на экране, равные l'_1 и l'_2 . В этом положении оригинал печатают на фотобумагу или перерисовывают.

Редуктор Попова. Это оптический проектор, специально предназначенный для редуцирования и масштабирования картографических материалов. Он имеет небольшой диапазон изменения масштаба — от $2\times$ уменьшения до $2\times$ увеличения и работает только на просвет, т. е. проектирует прозрачный оригинал, например кальку, вычерченную тушью. Достоинством прибора является большой размер кассеты и экрана, равный 120×120 см. Это позволяет практически всегда проектировать оригинал целиком, без деления на части. Редуктор Попова рассчитан на графические, но не на фоторепродукционные работы.

Фототрансформаторы. Большой фототрансформатор ФТБ — оптический проектор с автоматической фокусировкой, в которой предусмотрены наклон, разворот и смещения кассеты относительно экрана. Предназначен специально для фотографического трансформирования аэроснимков, т. е. для преобразования их в аэроснимки идеального случая аэро съемки. ФТБ рассчитан только на прозрачные оригиналы, имеет размер кассеты 28×28 см, а экрана 105×105 см. Диапазон изменения масштаба — $0,7$ до $4,5\times$. Прибор практически не подходит для графических работ из-за малой яркости изображения на экране и неудобного для рисовки положения оператора. Однако для фотографического масштабирования и размножения картографических материалов на фотопленке и кальке он вполне удобен.

Малый фототрансформатор ФТМ отличается от ФТБ деталями конструкции и меньшим диапазоном масштабов — от $0,7$ до $2,5\times$.

Редуцирование и масштабирование на рисовальном приборе и пантографе. Рисовальный прибор ЛЮЦ можно использовать для непосредственного редуцирования оригиналов размером не более 30×30 см, т. е. для редуцирования карт, составленных на $1/25000$ трапецию в масштабе $1 : 37\,000$ и мельче. Редуцируемый материал устанавливают в этом случае на месте аэроснимка, а топооснову кладут обычным образом. Снимкодержатель должен быть закреплен в вертикальном положении, параллельном продольной оси прибора. В этом положении квадрат должен при проектировании изображаться также квадратом. Для редуцирования оригиналов длиной более 30 см их нужно предварительно по частям уменьшить. Уменьшенный оригинал редуцируют по опознакам так же, как и на УТП-1.

Поскольку для редуцирования карты требуется значительно меньше опознаков, чем при дешифрировании под стереоскопом

с последующим переносом его результатов на ЛЮЦ, в равнинной и бедной контурами местности целесообразно использовать ЛЮЦ для редуцирования, а составление вестей на стереоприборе.

Пантограф можно использовать для редуцирования карт только при отсутствии всех других приборов. Его недостатки: меньшая точность и производительность, а также невозможность правильного разброса невязок. При использовании пантографа его нужно тщательно отъюстировать. Коэффициент пантографирования устанавливается по отношению расстояний между опознаками на редуцируемом материале и топокарте.

Дешифрирование и перенос контуров на простейших стереоприборах

Принцип рисовки на стереоприборах. Напомним, что измерительные марки стереоприборов при стереоскопическом наведении сливаются в одну «пространственную» марку, лежащую на стереомодели. В большинстве стереоприборов марки скреплены с оптической системой и при движении этой системы «пространственная» марка перемещается по стереомодели, что позволяет обводить ею контуры или горизонтали местности. Если присоединить к стереоприбору планшет с чертежным устройством и передать движения марок карандашу чертежного устройства, то обводимые контуры будут автоматически вычерчиваться на планшете. Этот принцип и положен в основу рисовки карт и данных дешифрирования на стереоприборах.

У наиболее простых приборов, к которым относится стереопантометр, рассмотренный выше как дешифрировочный и измерительный стереоскоп, стереопрет, выпускаемый фирмой Оптон (ФРГ), и аналогичные им приборы других иностранных фирм, чертежному устройству передается движение одной из реальных марок (у стереопантометра — левой). В этом случае вычерчиваемые на планшете прибора контуры конгруэнтны, или подобны, контурам левого снимка, т. е. содержат все фотограмметрические искажения, присущие данному снимку. У более сложных приборов на планшет или координатограф передаются плановые координаты «пространственной» марки, т. е. точки пересечения прямых, проходящих соответственно через центр левого окуляра и левую марку и центр правого окуляра и правую марку. Приборы такого типа позволяют вычертить плановое положение любых контуров и горизонталей стереомодели, и полностью составить топографическую или специальную карту по аэроснимкам. Вследствие этого они называются универсальными стереоприборами.

Область применения простейших стереоприборов. При дешифрировании гиростабилизированных аэроснимков равнинных

районов и составлении карт по данным такого дешифрирования фотограмметрические искажения в пределах одиночного снимка можно не учитывать. Так и поступают при переносе данных дешифрирования на ЛЮЦ по двум опознакам или на пантографе. В этих условиях допустимо и составление геологических карт на простейших стереоприборах. Его преимущество состоит в том, что рисовка производится параллельно со стереоскопическим дешифрированием, в условиях сочетания большой детальности, обеспечиваемой оптическим увеличением стереоприбора и значительной обзорности, достигаемой прослеживанием структур в пределах всей стереопары. Если обзорность нужно еще более увеличить, то бинокляр наблюдательной системы откидывают. Таким образом, работа аналогична дешифрированию при наличии и крупномасштабных, и мелкомасштабных аэроснимков, рассматриваемых практически одновременно. При работе с мелкомасштабными аэроснимками контуры, отрисованные на планшете, бывают точнее нанесены и лучше увязаны между собой, чем при рисовке непосредственно на аэроснимке, даже если она производится под тем же стереоприбором. При значительной геологической нагрузке рисовка на планшете способствует более правильной геологической интерпретации, так как аэроснимки в течение всего процесса дешифрирования остаются чистыми.

Рисовка на стереоприборе позволяет непосредственно соединять данные дешифрирования в пределах ряда стереопар или всей картируемой трапеции и вследствие этого не требует опознаков или же требует их гораздо меньше, чем при переносе на рисовальных приборах. Поэтому стереорисовка предпочтительна в районах, топокарты которых имеют мало контуров. Рисовку на простейших стереоприборах можно рекомендовать как оптимальный метод составления при геологическом картировании равнинных районов в масштабе 1 : 200 000 по аэроснимкам масштаба 1 : 60 000 и мельче. При крупномасштабном картировании ее следует применять в основном в безориентирной местности при отсутствии фотоосновы.

Стереопантометр (см. рис. 8) — единственный прибор рассматриваемого класса, применяемый в СССР. Перенос контуров на стереопантометре производится только в масштабе аэросъемки.

В качестве прибора для составления карт по аэроснимкам равнинной местности стереопантометр позволяет:

а) по контактной печати составить карту предварительного дешифрирования и полевую карту в масштабе аэросъемки с точностью, как правило, достаточной для геологического картирования;

б) по аэроснимкам, увеличенным точно до масштаба топокарты, перенести результаты дешифрирования непосредственно на нее;

в) используя в последующей работе приборы для редуцирования, составить все промежуточные и окончательные карты.

Как измерительный стереоскоп стереопантометр предназначен для измерительного дешифрирования контактных отпечатков, увеличенных аэроснимков и аэронегативов. Измерения ведутся с помощью параллаксометра, жестко скрепленного с наблюдательной системой. Прибор позволяет определять превышения точек, строить профили местности, определять элементы залегания и мощности пластов и т. д. Элементы залегания пологонпадающих пластов измеряются на стереопантометре только по гиостабилизированным аэроснимкам.

Стереопантометр можно использовать как в камеральных условиях, так и на полевой базе геологической партии (отряда). Он легко устанавливается и складывается в один ящик весом 38 кг. Стереопантометр отличается от стереопантометра главным образом наличием пантографа, позволяющего произвольно менять масштаб составляемой карты.

Составление геологической карты с последующим редуцированием. Для такого составления, кроме стереопантометра, требуется редуцирующий прибор. Излагаемый способ применяют при составлении карт предварительного дешифрирования, а также карт по аэроснимкам, отдешифрированным в поле. В последнем случае полевая карта получается в масштабе аэросъемки и редуцируется, т. е. переводится в масштаб картирования и наносится на топооснову уже в камеральных условиях на приборе (например УТП-1); установленном на базе экспедиции или в геологическом управлении. Редуцирование выполняют и по договору со сторонними фотограмметрическими организациями на их приборах.

Лист карты составляют по отдельным маршрутам. На концах каждого маршрута вблизи начальных направлений выбирают и накальвают по одному или по два опознака (второй — контрольный). Маршруты, содержащие более шести — восьми снимков, следует разбивать на секции, каждая из которых составляется и редуцируется отдельно. Способ применим только в том случае, если превышения в пределах каждого маршрута или секции невелики (это указание будет уточнено ниже). Работа по составлению ведется следующим образом.

На всех аэроснимках накальвают центры и перекальвают центры левого и правого соседних снимков маршрута. Винты параллаксометра прибора устанавливают в среднее положение, а винты стереоскопа, вращающие его зеркала, так, чтобы левая и правая марки параллаксометра были бы в центре поля зрения. На рисовальном столе закрепляют полосу ватмана (для каждого маршрута свою). Включают подсветку прибора, стереоскоп с параллаксометром отводят в левый дальний край и под защитный пластик прибора закладывают снимок стереопары

так, чтобы черная линия на световом столе (ось абсцисс прибора) проходила через наколы обоих центров стереопары, т. е. через начальное направление. Аналогично устанавливают правый снимок. Расстояние между центром левого снимка и изображением этого центра на правом должно быть примерно равным расстоянию между марками параллаксометра.

Работу на каждой стереопаре начинают и кончают переносом на планшет (полосу ватмана) ее центров и имеющихся опознаков. Их положение до и после дешифрирования стереопары и переноса контуров должно совпадать. Перенос каждой точки осуществляют опусканием наколки или карандаша чертежного устройства при стереоскопическом наведении марки параллаксометра на эту точку. Перенос контуров осуществляется стереоскопической обводкой (скольжением марки параллаксометра по контуру) при опущенном карандаше. Кроме геологических контуров, на планшет нужно переносить основные топографические контуры, по которым определяют и увязывают невязки. Поскольку на стереопантометре контуры отрисовываются так, как они изображены на левом снимке стереопары, рисовку целесообразно начинать с левого края маршрута. По этой же причине, учитывая возрастание искажений к краям аэроснимков, каждую стереопару следует отрисовывать за левый центр до конца стереомодели и кончать перенос, не доходя до правого центра.

После отрисовки первой стереопары и установки в приборе второй (т. е. второго и третьего снимка) планшет сдвигают вдоль маршрута таким образом, чтобы центр второго снимка попадал на его изображение на планшете, а центр первого снимка (переносимый теперь монокулярно со второго снимка) — на линию первого базиса. В этом положении планшет закрепляют и на него наносят центр третьего снимка. Аналогично осуществляют переход к каждой следующей стереопаре.

На стыках стереопар могут возникать невязки контуров. Поперечную составляющую этих невязок усредняют. Составляющая, направленная вдоль маршрута, возникает только вследствие ошибок на левой (предыдущей) из соединяемых стереопар. Поэтому ее надо устранять, закрепляя положение контуров, полученное с правой (последующей) стереопары. После отрисовки всех маршрутов аэросъемки, покрывающих площадь картируемой трапеции, геологическую нагрузку с каждого из них переносят на топооснову с помощью УТН-1 или другого редуцирующего прибора так, как это изложено в предыдущем разделе. Карту предварительного дешифрирования полезно иметь в нескольких экземплярах и в нескольких масштабах: в масштабе геологической съемки, в масштабе составления полевой карты, который обычно вдвое крупнее предыдущего, и в масштабе аэросъемки, используемой для дешифрирования. Последнее облегчает составление на стереопантометре полевой карты.

Особенности составления полевых карт в масштабе аэро-съемки. Основное преимущество рисовки полевых карт на стереопантометре перед переносом на фотоплан или использованием ЛЮЦ в том, что полевое камеральное составление производится стереоскопически и по увеличенной стереомодели (оптическое увеличение прибора $3,5\times$), это повышает надежность дешифрирования, особенно в местах, не обеспеченных полевыми маршрутами. В то же время сама полевая рисовка сохраняется без изменений, что облегчает последующее редактирование. Недостатком является расхождение масштабов составленной полевой геологической карты и топокарты.

Стереопары составляют из одного отдешифрированного в поле и одного чистого аэроснимка. Вследствие этого нужно или дешифрировать в поле снимки через один, или иметь чистый комплект их.

Подготовка прибора и аэроснимков, выбор опознаков и составление в пределах каждого маршрута аэросъемки не отличается от изложенного в предыдущем подразделе.

Полевую карту составляют на кальке, перенося на нее ситуацию с каждой отрисованной на приборе полосы ватмана. При переходе от одного маршрута к другому калька подориентируется по топографическим контурам в зоне поперечного перекрытия. При этом продольные невязки контуров между маршрутами аэросъемки следует устранять, совмещая контуры по их середине, и усреднять по краям. Поперечные невязки усредняют по всем надежным контурам зоны перекрытия. Остаточные ошибки в среднем в 2—3 раза меньше усредняемых невязок.

Если при предварительном дешифрировании подготовлен экземпляр предварительной карты в масштабе аэросъемки, то контуры можно переносить на нее. В этом случае после установки каждой стереопары планшет ориентируют так, чтобы левый центр стереопары и ее базис совпадали с их изображением на предварительной карте.

Опознаки при полевом составлении не используют. Они нужны только при отсутствии предварительной карты в масштабе аэросъемки, так как в этом случае точность полевой карты не всегда достаточна для составления окончательной карты простым масштабированием. Опознаки позволяют при последующих камеральных работах составить окончательную карту путем редуцирования каждой полосы полевой карты в отдельности.

Особенности составления карт по увеличенным аэроснимкам. При наличии аэроснимков, увеличенных точно до масштаба топокарты (или аэроснимков, имеющих этот масштаб), стереопантометр позволяет переносить контуры непосредственно на топокарту.

Стереопару из увеличенных аэроснимков устанавливают в приборе, а топокарту ориентируют таким образом, чтобы контуры при переносе со снимков ложились на идентичные контуры топокарты. При наличии невязок совмещают все переносимые контуры, расположенные вблизи центра левого снимка стереопары, а также контуры, проходящие поперек маршрута аэросъемки вблизи перпендикуляра к базису стереопары, проведенного через ее левый центр. Невязки остальных контуров устраняют, закрепляя перенос тушью, при этом близкие геологические и топографические контуры сдвигают так, чтобы топографические контуры совпали с изображенным на топокарте. Использовать вместо топокарты разреженную топооснову не следует, так как это затрудняет работу и снижает точность.

Точность составления карт на стереопантометре. При составлении карт с редуцированием по опознакам фактические остаточные ошибки можно определить в процессе редуцирования по невязкам топографических контуров. Однако для решения вопроса о целесообразности использования стереопантометра при геологическом картировании конкретного участка в заданном масштабе необходим подсчет точности.

В табл. 11 приведены расчетные значения предельных ошибок положения геологических контуров, остающихся после редуцирования, в зависимости от максимальных превышений в пределах стереопары, масштаба геологического картирования и фокусного расстояния АФА. Ломаной линией отделены предельные ошибки, не превосходящие 1 мм. Если параметры планируемой геологической съемки соответствуют этой части таблицы, то стереопантометр можно применять на всех этапах работы вплоть до составления окончательной карты. В противном случае, т. е. когда предельные ошибки больше 1 мм, целесообразно использовать прибор только для составления карт предварительного дешифрирования, которые в этом случае правильнее называть картосхемами. Таблица рассчитана применительно к гиросtabilизированным аэроснимкам, а также к любым аэроснимкам, масштаб которых в 1,5 или более раз крупнее масштаба геологического картирования. При картировании масштабов 1:100 000 и 1:200 000 эти условия соблюдаются всегда, при пятидесятитысячном — почти всегда, так как его редко ведут по аэроснимкам, масштаб которых мельче 1:35 000. Если используют снимки меньшего масштаба без гиросtabilизации, то стереопантометр в равнинной местности дает ошибки до 1,5 мм при $f=70$ мм и до 1 мм при $f=100$ мм. Для картирования масштаба 1:25 000 по негиросtabilизированным аэроснимкам стереопантометр не годится.

Из табл. 11 видно, что при двухсоттысячном картировании прибор применим почти всегда, а при пятидесятитысячном — только на равнинных и слабо всхолмленных районах. Исполь-

h_{max}	1:25 000				1:50 000				1:100 000				1:200 000			
	70	100	140	200	70	100	140	200	70	100	140	200	70	100	140	200
15	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
25	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
50	2,0	1,5	1,0	0,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
75	3,0	2,0	1,5	1,0	1,5	1,0	1,0	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
100	—	3,0	2,0	1,5	2,0	1,5	1,0	0,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
150	—	—	3,0	2,0	3,0	2,0	1,5	1,0	1,5	1,0	1,0	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5
200	—	—	—	3,0	—	3,0	2,0	1,5	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5
300	—	—	—	—	—	—	3,0	2,0	3,0	2,0	1,5	1,0	1,5	1,0	1,0	0,5
500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,5	1,5	2,5	2,0	1,5	1,0

Примечание. Прочерк в графе означает, что предельная ошибка превосходит 3 мм. Стереопанометр в таких случаях неприменим.

зую табл. 11, нужно иметь в виду, что превышения в пределах картируемой трапеции могут быть много больше максимального превышения в пределах отдельной стереопары. Иначе говоря, местность со слабыми наклонами можно картировать на стереопантометре, даже если вдоль склонов постепенно накапливаются большие превышения.

Предварительные и полевые карты часто составляют в масштабе вдвое более крупном, чем масштаб геологического картирования. Вследствие этого на них вдвое возрастают и допустимые и реально получаемые ошибки, например, предварительную или полевую карту масштаба 1 : 25 000, имеющую ошибки до 2 мм, при картировании масштаба 1 : 50 000 следует считать картой, а не картосхемой.

Точность полевой карты, составленной без основы (подготовленной при предварительном дешифрировании), в среднем вдвое меньше, чем с основой и во многих случаях ее следует считать картосхемой, а не картой. Однако после редуцирования отдельных маршрутов по опознакам получается окончательная карта, точность которой соответствует табличной.

Следует иметь в виду, что невязки контуров при составлении могут в несколько раз превышать ошибку, остающуюся после увязки и редуцирования.

Радиал-пантограф РП-2

Назначение и принцип работы прибора. РП-2 (рис. 62) — отечественный фотограмметрический прибор для переноса данных дешифрирования с аэроснимков на топооснову. При этом автоматически исправляются практически все искажения, при-

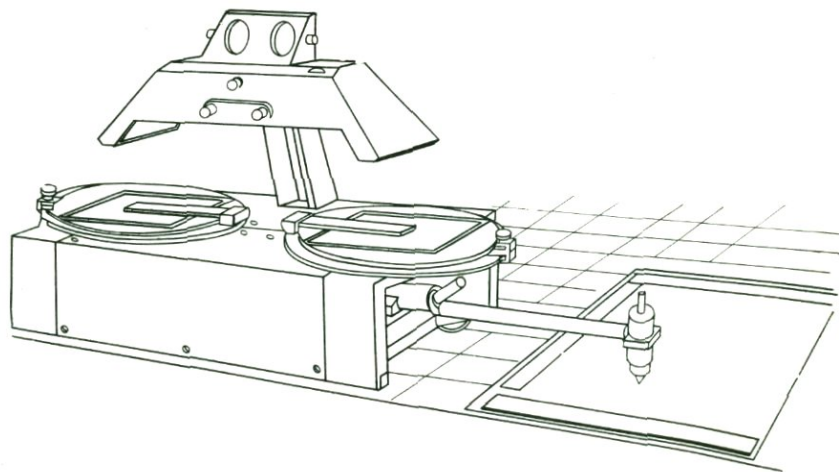


Рис. 62. Радиал-пантограф РП-2

сущие аэроснимку, вследствие чего на РП-2 можно обрабатывать снимки местности с любым рельефом. Однако основная область его применения — горные районы, так как в равнинных районах перенос более эффективно осуществляется на других приборах. При работе в высокогорных районах в некоторых случаях требуется предварительная фотограмметрическая подготовка аэроснимков (этот вопрос подробно рассмотрен ниже). Прибор РП-2 рассчитан на работу с контактными отпечатками на фотобумаге формата 18×18 см. Прибор позволяет перейти от масштаба аэроснимков к масштабу карты, причем перенос контуров возможен с уменьшением до $5 \times$ и с увеличением до $1,5 \times$. Средняя точность переноса $0,5$ мм.

Если сориентировать стереопару по начальным направлениям и провести на обоих ее снимках прямые, проходящие через центр снимка и изображение одной и той же точки местности, то пересечение этих прямых определяет истинное, т. е. свободное от искажений, положение точки. Этот принцип, называемый принципом прямой засечки, и положен в основу работы РП-2. Засечка осуществляется штрихами, нанесенными на прозрачных линейках, вращающихся вокруг центров кассет. Когда штрихи проходят через идентичные точки снимков, наблюдатель видит крестообразную марку, образуемую ими в оптической системе, совмещенной с соответствующей точкой стереомодели. При этом пантограф прибора наносит на планшет положение точки пересечения штрихов в заданном масштабе. С приближением точки к базису стереопары угол засечки приближается к 180° , а на точках базиса штрихи совпадают и засечки не происходит. Это так называемая «мертвая зона», в которой прибор не работает. Перенос контура осуществляется путем обводки его по стереомодели. Увеличение наблюдательной системы прибора $1,3 \times$, поле зрения 10×18 см. Для наблюдения точек с большой разностью продольных параллаксов, т. е. с большими превышениями, предусмотрен поворот зеркал стереоскопа, а для устранения поперечного параллакса — перемещение правой линзы. Наведение марки на точки стереомодели производят, вращая в нужном направлении кольца снимкодержателей, скрепленные с прозрачными линейками, движения которых передаются к пантографу прибора. Требуемый масштаб устанавливается масштабным винтом.

Радиал-пантограф РП-2 можно использовать и в качестве дешифровочного стереоскопа. Для просмотра увеличенной стереомодели в оптическую систему вставляются монокулярны $4 \times$ увеличения.

РП-2 можно применять не только в камеральных условиях, но и на полевой базе партии или отряда. Его габариты $69 \times 40 \times 40$ см, масса 25 кг. Установка прибора проста, освещение — от электросети.

Радиальные стереоприборы с тем же назначением и принципом действия, что и РП-2, имеются и за границей. К ним относятся в частности, SB=100 (Radial Stereosketch) английской фирмы Хилгер и Уотс и прибор RPR (Restituteur planimétrique radial) французской фирмы Морэн.

Подготовка аэроснимков к переносу данных на РП-2. Подготовку аэроснимков к работе на РП-2 целесообразно сделать заранее, до их дешифрирования. На

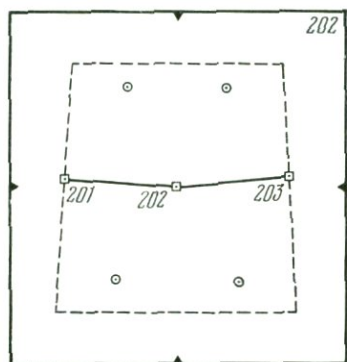


Рис. 63. Рабочая зона аэроснимка (пунктирная линия) и оптимальное расположение основных опознаков

всех снимках накальвают центры и перекальвают их под стереоскопом на смежные снимки с точностью 0,2 мм. Стереопару для переноса контуров на РП-2 нужно составлять из одного отдешифрированного и одного чистого аэроснимка, причем отдешифрированные контуры должны быть подняты тушью, тонкими линиями. Излишне частый край, толстые линии, а тем более наличие данных дешифрирования на обоих снимках стереопары препятствуют получению стереоэффекта и делают работу на РП-2 невозможной.

При дешифрировании контуры следует наносить через снимок, в пределах рабочей зоны (рис. 63), ограниченной сверху и снизу серединой перекрытия между маршрутами, а с боков — перпендикулярами к базисам, проведенными через их концы. Во избежание разрывов, контуры дешифрируются и в пределах 5 мм за границами рабочей зоны. Больше ее увеличивать не нужно так как при работе на верхнем и нижнем краях снимка РП-2 может дать значительные ошибки. Отобрав снимки через один, наносят на каждый из них рабочую зону и шесть контурных точек — опознаков с топокарты. Четыре из них — основные, два — контрольные. Основные опознаки желательно располагать вблизи перпендикуляров к базисам, проведенных через их середины на расстоянии 5—6 см от базисов. Левые опознаки служат для масштабирования стереопары, составленной из данного аэроснимка и левого смежного, правые — для масштабирования стереопары с правым смежным снимком. Контрольные опознаки выбираются по одному на левую и правую стереопары в пределах рабочей площади, не ближе 1 см от мертвой зоны. Если перенос планируется не на топокарту, а на иную основу, то опознаки переносят и на нее.

Установка аэроснимков и топоосновы в приборе. Каждый снимок стереопары кладут в кассету и тщательно центрируют, т. е., глядя в соответствующий окуляр, передвигают снимок до

точного совпадения его центра с пересечением штрихов на прозрачной линейке. Затем кассеты разворачивают так, чтобы снимки оказались сорентированными по начальным направлениям. С этой целью наводят наблюдательную систему на левый центр и, глядя в правый окуляр, вращают правую кассету так, чтобы левый центр, наколотый на правом снимке, оказался под штрихом прозрачной линейки. В этом положении кассету закрепляют. Аналогично ориентируют левый снимок, после чего проверяют центрирование и ориентирование обоих снимков.

На планшет прибора кладут топооснову. Перемещая ее и вращая масштабный винт, добиваются, чтобы при стереоскопическом визировании последовательно на каждый из двух основных опознаков игла чертежного устройства отмечала этот опознак на топооснове. Достигается это несколькими приближениями. Затем топооснову закрепляют и проверяют правильность ее ориентирования и масштабирования по всем трем опознакам.

Центрирование и ориентирование снимков, а также установка топоосновы и масштабирование по основным опознакам должны быть выполнены с точностью 0,2 мм. Накол контрольного опознака может расходиться с его положением на топооснове до 0,5 мм в равнинных районах и до 1 мм в горных. При больших расхождениях следует проверить накол центров и опознаков и установку снимков и топоосновы в приборе.

Перенос контуров. Стереоскопически наводят крестообразную марку на точку отдешифрированного контура, опускают карандаш чертежного устройства и, вращая кольца в нужном направлении, ведут крестообразную марку вдоль контура. Пантограф прибора передает это движение чертежному устройству, которое и вычерчивает контур на топооснове. Для переноса контуров необходим хороший стереоэффект, достигаемый без напряжения глаз. Для его получения нужно:

1) устанавливать оптимальный для наблюдателя глазной базис;

2) при значительных превышениях вдоль контура своевременно менять угол между зеркалами, компенсируя изменение продольного параллакса;

3) при появлении вертикального двоения контуров, т. е. поперечного параллакса, устранять его смещением правой линзы.

При инструментальном переносе контуры целесообразно доводить только до границ «мертвой зоны». В «мертвой зоне» их переносят от руки, ориентируясь по ситуации стереомодели и топокарты.

Обработав стереопару, следует проверить по основным опознакам постоянство масштаба, положения снимков и топоосновы. Следующую стереопару устанавливают, ориентируют и масштабируют по опознакам или точно так же, или же через

раз, разворачивая аэроснимки в кассете, вместо того, чтобы снимать их и вновь закладывать. Пусть, например (см. рис. 63), данные дешифрирования нанесены на снимках с четными номерами и обработка стереопары 201—202 закончена. Тогда аэроснимок № 201 вынимают из левой кассеты и вставляют на его место развернутый на 180° снимок № 203. В правой кассете (в кассетах предусмотрено вращение на 360°) оставляют снимок № 202, причем и его и топооснову также разворачивают на 180° . После этого ориентируют аэроснимки, устанавливают масштаб по опознакам и переносят контуры со стереопары 203—202. Закончив это, разворачивают левую кассету (со снимком № 203) на 180° , в правую устанавливают снимок № 204, производят ориентирование по начальным направлениям и перенос контуров со стереопары 203—204 и т. д.

Точность РП-2. Как правило данные геологического дешифрирования нужно переносить с ошибкой не более 1 мм в масштабе топоосновы. Этому условию соответствуют сформулированные выше требования к точности подготовительных работ и установки снимков и топоосновы в РП-2, из него будем исходить и в дальнейшем.

Точность переноса контуров зависит от рельефа местности и от угла засечки, т. е. от угла γ пересечения штрихов прозрачных линеек и выше всего при $\gamma=90^\circ$. На рис. 64 и 65 изображены изолинии значений γ для стереопар с базисом 70 и 50 мм. Если угол γ больше 135° или меньше 45° , то его дальнейшее увеличение (уменьшение) приводит к быстрому росту ошибок, вызванных погрешностями прибора, подготовки и установки снимков и топоосновы. При $\gamma=150^\circ$ смещение точки вдоль базиса может в 3 раза превысить вызвавшие его погрешности, а при $\gamma=160^\circ$ в 5—6 раз. Вследствие этого приходится предъявлять высокие требования к точности подготовки и установки снимков (см. выше) и считать изолинию $\gamma=160^\circ$ границей «мертвой зоны». На рис. 64 и 65 «мертвая зона» заштрихована. Горизонтальными прямыми на рисунках отделена рабочая зона при нормальном (30%-ном) и минимально допустимом (20%-ном) поперечном перекрытии. Из рисунка видно, что при заниженных значениях базиса и поперечного перекрытия точность падает не только вблизи «мертвой зоны», но и к краям стереопары.

Ориентирование аэроснимков по их центрам, изложенное выше, вносит методические ошибки, возрастающие пропорционально превышениям точек местности в пределах стереопары, углам наклона аэроснимков и масштабу составляемой карты. Избежать этих ошибок можно только, если ориентировать аэроснимки не по центрам, а по точкам надира.

В табл. 12 приведены наибольшие значения превышений в пределах стереопары — h_{\max} и между ее центрами — h_0 , при ко-

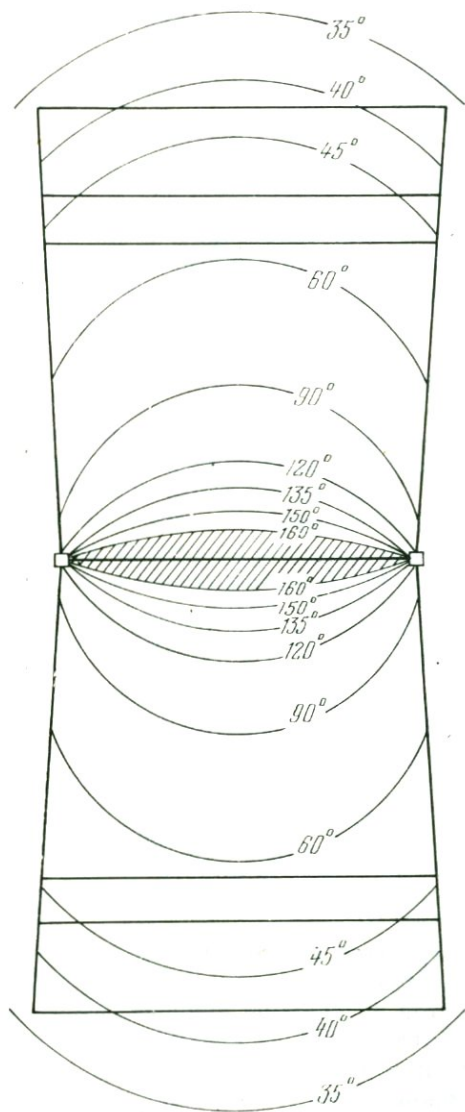


Рис. 64. Изолинии угла γ при базисе стереопары, равном 70 мм. Горизонтальными прямыми линиями отделены границы зоны при 30%-ном и 20%-ном перекрытии маршрутов аэросъемки. Мертвая зона заштрихована

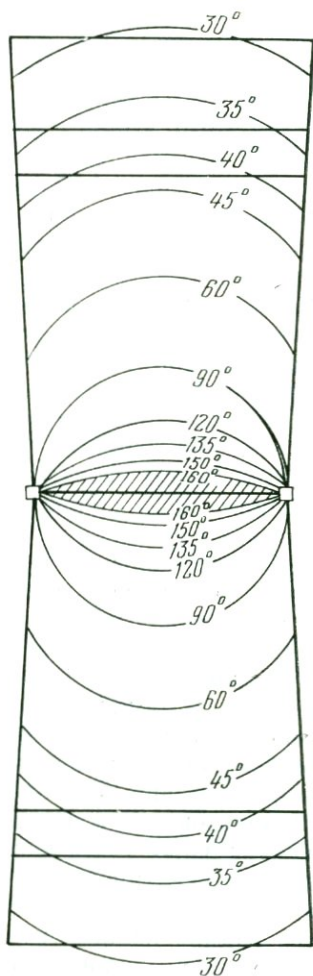


Рис. 65. То же, что и на рис. 64, но для стереопары с базисом, равным 50 мм

Таблица 12

	M 1:10 000	M 1:25 000	M 1:50 000	M 1:100 000
h_{\max}	300 м	750 м	1500 м	3000 м
h_0	200 м	500 м	1000 м	2000 м

торых ориентирование по центрам обеспечивает перенос контуров на топооснову масштаба M с ошибкой не более 1 мм.

Табл. 12 соответствует аэросъемке без гиросtabilизации, оптимальному выбору положения основных опознаков и расширению мертвой зоны до изолинии $\gamma=150^\circ$. Если аэросъемка выполнена с гиросtabilизацией, то углы наклона снимков, как правило, не превосходили $40'$, а превышения табл. 12 можно увеличить втрое, т. е. снимки всегда можно ориентировать по центрам.

Если аэросъемка проводилась без гиросtabilизации, а превышения больше указанных в таблице, то нужно переходить к точкам надира. Когда выбрать опознаки в указанных выше местах не удается из-за отсутствия контуров, ошибки, вызванные рельефом, возрастают и ориентирование по точкам надира требуется при меньших превышениях. В частности, если опознаки расположены на расстоянии 5—6 см от базиса, но у правого или левого края стереомодели или же вблизи перпендикуляра к середине базиса, но на расстоянии порядка 4 или 7 см от него, то ориентирование по центрам допустимо при превышениях в $1\frac{1}{2}$ —2 раза меньше табличных; если на расстоянии порядка 8 см от базиса — в 3 раза меньше табличных. В случаях, когда допустима ошибка более 1 мм, можно пропорционально ее росту увеличивать допуски ошибок накола и переноса центров, установки и ориентирования снимков, масштабирования по опознакам, а также увеличивать значения h_{\max} и h_0 в табл. 12. Наоборот, при повышении требования к точности все допуски пропорционально сужаются.

Использование и определение точек надира. Когда в качестве центральных точек используются точки надира, то центрирование и ориентирование снимков в приборе производится по ним, а в остальном работа не отличается от изложенной выше. Точки надира наносят на аэроснимки по их координатам, определение которых довольно сложно. Вследствие этого при больших превышениях желательно использовать гиросtabilизированные аэроснимки, не требующие этой операции. Положение точки надира аэроснимка зависит от его продольного α_x и поперечного ω углов наклона. Если ввести на снимке прямоугольную систему координат с началом в центре, осью абсцисс вдоль базиса стереопары в направлении маршрута аэросъемки

и осью ординат влево от нее, а углы α_x и ω считать положительными, когда оптическая ось АФА наклонена вперед и влево по маршруту, то координаты точек надира x_n и y_n выражаются через углы α_x и ω формулами

$$\left. \begin{aligned} x_n &= -f\alpha_x : 3438 \\ y_n &= -f\omega : 3438 \end{aligned} \right\}, \quad (55)$$

где x_n , y_n и f — в миллиметрах, α_x и ω — в минутах.

Вместо истинных точек надира можно использовать условные, координаты которых получаются из формул (55) при замене углов α_x и ω углами наклона α'_x и ω' относительно условно-горизонтальной плоскости. Можно исходить и из взаимных углов наклона снимков стереопары (элементов взаимного ориентирования) $\Delta\alpha_x$ и $\Delta\omega$:

$$\Delta\alpha_x = \alpha_{x_2} - \alpha_{x_1}, \quad \Delta\omega = \omega_2 - \omega_1. \quad (56)$$

Тогда координаты условных точек надира снимков этой стереопары выражаются формулами

$$\left. \begin{aligned} x_{n_1} &= 0,5f\Delta\alpha_x : 3438, & y_{n_1} &= 0,5f\Delta\omega : 3438, \\ x_{n_2} &= -0,5f\Delta\alpha_x : 3438, & y_{n_2} &= -0,5f\Delta\omega : 3438. \end{aligned} \right\} \quad (57)$$

Имея геологический стереометр ГС-4 или прецизионный стереометр СМ-3 (СМ-4), или стереокомпаратор, можно определить элементы взаимного ориентирования каждой стереопары, а затем вычислить координаты условных точек надира.

При отсутствии указанных приборов рекомендуется заказывать определение координат точек надира предприятиям ГУГК или иным компетентным учреждениям. Предварительно нужно проверить, не сохранились ли в организации, из которой получены материалы аэрофотосъемки, данные об элементах внешнего или взаимного ориентирования аэроснимков, т. е. значения углов α_x и ω или $\Delta\alpha_x$ и $\Delta\omega$, а также не нанесены ли точки надира на негативах аэрофильма (последнее бывает, когда по нему велась так называемая графическая фототриангуляция).

Если РП-2 планируется использовать только для составления полевой карты, а предварительное дешифрирование ведется на прецизионном универсальном стереоприборе, то значения углов α_x и ω снимают непосредственно со шкал этого прибора.

Глава XIV

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАТЕРИАЛАМИ АЭРОФОТОСЪЕМКИ

Эффективность геологического дешифрирования зависит от материалов аэрофотосъемки, по которым оно ведется, и прежде всего от их масштаба, природных и технических условий аэрофото-

графирования, фотографического и фотограмметрического качества и комплектности. Эти характеристики в значительной мере приведены выше, в главах I и II, и подробно изложены в Указаниях по обеспечению материалами аэрофотосъемки. Ниже остановимся только на вопросах, связанных с масштабом и комплектом материалов для дешифрирования.

Подбор аэросъемочных материалов прежде всего определяется детальностью и обзорностью фотоизображения. Детальность фотоизображения зависит от масштаба аэросъемки, ее фотокачества и степени использования ее возможностей.

Максимальная детальность достигается при стереоскопическом наблюдении предельно увеличенного фотоизображения в условиях достаточно яркого и одинакового для обоих глаз освещения.

Обзорность фотоизображения возрастает с увеличением площади местности, фотоизображения которой наблюдается одновременно. Обзорность зависит от масштаба фотографирования, фотокачества и методики дешифрирования. Максимальная обзорность достигается при использовании тщательно изготовленных фотосхем или фотопланов с фильма или уменьшенных копий с них.

Требования к детальности возрастают с увеличением масштаба исследований и сложности геологического строения исследуемого района. В геологически открытых районах, а также в районах, не покрытых сплошным лесом, полезна большая детальность, чем в закрытых и залесенных.

Для обеспечения детальности при поисково-разведочных работах масштаба 1:10 000 и крупнее требуется масштаб фотоизображения 1:5 000—1:10 000.

При геологической съемке масштаба 1:50 000 (1:25 000) в районах сложного и особо сложного геологического строения (IV и V категории сложности по СУСН) детальность обеспечивается теми же масштабами фотоизображения; в районах III категории сложности и в открытых, незалесенных районах II категории достаточно наблюдать фотоизображение масштаба 1:10 000—1:20 000; в остальных районах II категории и в районах I категории сложности — масштаба 1:25 000—1:50 000.

При геологическом картировании масштаба 1:200 000 (1:100 000) в сложных районах требуется фотоизображение масштаба 1:15 000—1:25 000, а в районах простого строения — не крупнее 1:50 000.

С уменьшением требований к детальности возрастают требования к обзорности.

Поисково-разведочные работы масштаба 1:10 000 и крупнее ведутся на территориях, обеспеченных крупномасштабными геологическими картами, т. е. на территориях, геологическое

строение которых хорошо изучено. В этих условиях привлечения мелкомасштабных аэроснимков, как правило, не требуется.

При крупномасштабной съемке (масштаба 1:50 000 или 1:25 000) обзорность играет большую роль. Для ее обеспечения целесообразно иметь высококачественное фотонизображение масштаба 1:100 000 на трапецию масштаба 1:200 000, включающую территорию крупномасштабных работ или даже на большую площадь. При наличии космических фотоснимков на район работ целесообразно использовать и их, так как вследствие чрезвычайно большой обзорности на них иногда прослеживаются крупные разломы и иные протяженные структуры, не обнаруживаемые другими средствами.

При картировании масштаба 1:200 000 (1:100 000) необходимо использовать аэрофотоизображение масштаба 1:100 000—1:200 000 и желательно космические фотоснимки.

Мелкомасштабное фотонизображение особо необходимо в геологически закрытых и залесенных районах, где дешифрируются в основном геологические границы, замаскированные новейшими отложениями и растительностью и вследствие этого нечеткие и малоконтрастные.

При составлении и обновлении мелкомасштабных геологических карт (масштаба 1:500 000 и мельче) целесообразно использовать материалы космической фотосъемки.

Для обеспечения геологосъемочных и поисковых работ аэросъемочными материалами достаточной детальности возможны два пути: либо выполнение съемок в оптимальном масштабе, либо последующее увеличение снимков. Стоимость аэрофото съемки растет почти пропорционально квадрату ее масштаба. Так, например, в районе, где 1 км² аэросъемки в масштабе 1:20 000 стоит 3 рубля, стоимость 1 км² в масштабах 1:10 000 и 1:5 000 составляет соответственно 11 и 35 рублей. При этом аэросъемка производится на всю картируемую трапецию (или на ряд трапеций), даже если крупномасштабные снимки нужны только выборочно. Примерно так же быстро возрастает с увеличением масштаба аэросъемки и число аэроснимков, что неоправданно увеличивает трудоемкость дешифрирования и осложняет перенос его данных на топооснову и выполнение стереонзмерений.

Изготовлению увеличенных снимков в десятки раз дешевле, чем крупномасштабная аэросъемка, однако оно возможно только в специально оборудованной фотолаборатории или фотоцехе, а высококачественная проекционная печать аэрофильмов с увеличением более 2—3× производится очень немногими организациями.

Ориентировочные значения масштаба фотоматериалов в зависимости от масштаба геологических работ и от специфики изучаемого района указаны в табл. 13. Там же приведены масш-

Ориентировочные масштабы фотоизображения и фоторепродукционных материалов

Масштаб геологических работ	Группа районов	Масштаб фотоизображения, обеспечивающий детальность	Масштаб фоторепродукционных материалов	Масштаб фотоизображения, обеспечивающий обзорность
1:10 000 1:50 000 (1:25 000)	I—III	1:5 000—1:10 000	1:10 000	—
	—	—	—	—
	III	1:5 000—1:10 000	1:10 000—1:20 000	1:50 000— 1:100 000
1:200 000 (1:100 000)	II	1:10 000—1:20 000	1:15 000—1:30 000	1:100 000
	I	1:25 000—1:50 000	1:25 000—1:50 000	1:100 000
	—	—	—	—
	III	1:15 000—1:25 000	1:25 000—1:50 000	1:100 000— 1:200 000
	I—II	1:50 000	1:50 000—1:100 000	1:100 000— 1:200 000

табы фотоизображения, обеспечивающие его детальность и обзорность. Деление районов на группы по категориям сложности, принято в этой таблице, объяснено на стр. 174.

Иногда целесообразно производить основную часть полевого дешифрирования на фотоснимках, изготовленных в масштабе полевой карты (обычно это масштаб 1:25 000 или 1:50 000 при пятидесятитысячном картировании и 1:100 000 — при двухсоттысячном), а для детального дешифрирования наиболее сложных участков трапеции иметь выборочную крупномасштабную печать.

* В большинстве случаев один аэрофильм не может обеспечить и детальность и обзорность фотоизображения, вследствие чего для геологического картирования желательнее использовать материалы аэросъемки одного или двух масштабов, а также высотной или космической фотосъемки. Материалы одной из имеющихся аэросъемок являются основными. Масштабы основной аэросъемки рекомендованы инструкцией Мингео «Указания по обеспечению материалами аэрофотосъемки» (табл. 14).

Таблица 14

Масштабы основной аэрофотосъемки

Масштаб геологических работ	Группы районов		
	1	2	3
1:200 000 (1:100 000)	1:100 000	1:60 000	1:50 000
1:50 000 (1:25 000)	1:50 000	1:30 000	1:20 000
1:10 000	1:10 000	1:10 000	1:10 000

Группы районов в табл. 14 те же, что и в предыдущей. Указанные масштабы являются наиболее мелкими масштабами аэросъемки, которые допустимы без использования фотографического увеличения. При использовании фотоувеличения эти значения можно уменьшить в $1\frac{1}{2}$ —2 раза, а при наличии обоснования — и более. С другой стороны, масштаб основной аэросъемки может быть не более чем в 2 раза крупнее указанного в табл. 14.

Количество экземпляров контактной печати с основного аэрофильма рассчитывается так, чтобы каждый геолог мог проводить в полевых маршрутах стереоскопическое дешифрирование, а в партии, кроме того, имелся хотя бы один чистый (контрольный) экземпляр. Если утвержденная проектом работ технология дешифрирования и принятый в геологических управлениях порядок составления дешифровочных эталонов и отсчетных материалов требует большого числа экземпляров контактной печати, то и оно должно быть обеспечено.

Партии рекомендуется иметь один-два экземпляра контактной печати с каждого аэрофильма, оцененного как дополнительный материал. Это особенно существенно, если дополнительная аэросъемка является:

- а) мелкомасштабной, обеспечивающей хорошую обзорность;
- б) устаревшей и непригодной в качестве основного материала из-за невозможности опознавания точек местности, но позволяющей отдешифрировать геологические объекты, которые проявляются на основных аэроснимках (например аэросъемка до лесопосадок, распашки земель, интенсивной застройки);
- в) дополняет основную вследствие различия природных условий аэрофотографирования (например на аэроснимках горного района, снятых в вечерние часы, видны склоны, затененные на снимках, снятых в утреннее и дневное время, видны противоположные склоны; на весенних аэроснимках залесенной местности могут хорошо проявиться геоморфологические признаки, а на аэроснимках, сделанных ранней осенью, геоботанические и т. д.).

Для обеспечения обзорности в партии должно быть не менее 1—2 экземпляров контактной печати с мелкомасштабного аэрофильма или соответствующее количество фотосхем (фотопланов) либо уменьшенных копий с них.

Если аэросъемка признана пригодной только в случае использования увеличенных аэроснимков, то они обязательно должны входить в комплект материалов для дешифрирования. Каждый их экземпляр допустимо делить между двумя исполнителями. Увеличенные аэроснимки целесообразно иметь в масштабе составления полевой карты, а также (полностью или выборочно) в более крупном масштабе. Например, при наличии аэросъемки масштаба 1 : 35 000, для пятидесятитысячного кар-

тирования в районах III группы целесообразно изготовить увеличенные аэроснимки масштабов 1:25 000 и 1:15 000 (или 1:10 000).

При использовании цветной или спектральной аэрофото съемки партия должна иметь не менее одного полного комплекта контактной печати с нее. Если эта аэросъемка является основной, то, кроме того, нужно иметь достаточное количество экземпляров черно-белой печати. В камеральных условиях целесообразно просматривать спектральные аэронегативы, а не только цветные отпечатки с них, так как при печати цветные различия фильма передаются не полностью.

В партии должны быть репродукции накидного монтажа и копия паспорта аэросъемки для всех используемых аэрофото съемочных материалов.

Всюду, кроме горных районов, геологические карты рекомендуется составлять на фотооснове. При наличии фотокарт ГУГК или фотопланов аэрогеодезических предприятий их обязательно используют. Фотокарты и копии фотопланов должны быть в достаточном количестве экземпляров, вплоть до числа составляемых специальных карт.

При отсутствии фотокарт и фотопланов в равнинных и всхолмленных районах целесообразен заказ уточненных фотосхем в масштабах составления полевой и окончательной карты. Если аэросъемка выполнена с гиростабилизацией и имеются показания радиовысотомера, то уточненные фотосхемы можно заменить приведенными (которые значительно дешевле). Приведенные фотосхемы могут служить основой для геологической съемки масштаба 1:50 000 и мельче, а уточненные и для масштаба 1:25 000.

При отсутствии приборов для переноса данных дешифрирования на топооснову использование фотоосновы обязательно (кроме горных районов). Если имеются только стационарные приборы, то допустимо составление предварительных и полевых карт на фотосхемах.

В горных районах фотопланы и фотосхемы использовать, как правило, нецелесообразно. Их точность и качество изображения ухудшаются, а трудоемкость изготовления возрастает с увеличением превышений.

Глава XV

ТЕХНИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЭРОФОТОМАТЕРИАЛОВ ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Изучение аэрофотоматериалов при геологических исследованиях распадается на три последовательно сменяющих друг друга этапа: предварительный, полевой и окончательный.

Предварительный этап

Основные задачи предварительного этапа заключаются в подборе аэрофотоматериалов (см. главу XIV) и их дешифрировании.

Предварительное дешифрирование аэроснимков производят до выезда в поле параллельно с изучением фондовых материалов. Задачи этого этапа сводятся к возможно полному дешифрированию контактной печати и фотосхем с целью составления предварительной геологической карты на площадь подлежащей съемки, изучению строения рельефа и характера растительного покрова, выяснения условий обнаженности, наиболее рационального выбора полевых маршрутов, транспортировки и т. п.

При изучении геологического строения используется весь арсенал прямых и косвенных дешифрировочных признаков. На контактной печати, а затем на фотосхеме устанавливают положение границы между комплексами горных пород, начиная с новейшего рыхлого покрова. Внутри комплексов выделяются более дробные составные части, различающиеся дешифрировочными признаками: определение состава и возраста пород производится путем сопоставления с существующими геологическими картами или на основании ранее приобретенного опыта.

При выделении стратиграфических комплексов и более дробных единиц в первую очередь следует учитывать характер слоистости, деформированности пород, тон их изображения, рисунок форм макро- и микрорельефа и речной сети, имеющих свои характерные черты, зависящие от состава, крепости, выветренности пород, условий их залегания и отражательной способности.

Интрузивные массивы при достаточной обнаженности оконтуриваются вполне отчетливо. Основное значение имеет их более темная или светлая окраска и характерные формы рельефа и речной сети. Большую осторожность следует проявить при выделении разновидностей пород внутри массивов. При дешифрировании несогласий и разрывов учитывается комплекс признаков. Разрывы, прослеживающиеся даже на десятки километров, обычно ясно видны лишь на отдельных участках, разобщенных покровом новейших отложений либо породами, внутреннее строение которых не передается на снимке. Многие разрывы приурочены к речным и овражным долинам, обуславливая их общую прямолинейность. Следует иметь в виду возможность ветвления разрывов и многообразие форм сочленения их отдельных отрезков. Все это делает необходимым выделять достоверные и предположительные разрывы. При дешифрировании слоистых толщ в качестве фотомаркирующих горизонтов выбираются слои, достаточно протяженные и хорошо видимые. Частота их должна быть такой, чтобы они с нужной полнотой

отражали тектоническое строение выделенных стратиграфических комплексов.

Путем применения стереофотограмметрических приборов на аэрофотоснимках могут быть определены элементы залегания пород и их мощности, установлены высоты террас и т. п. Большое значение при подготовительных работах имеет привязка к аэрофотоснимкам и фотосхемам точек наблюдений предыдущих исследователей с описаниями опорных разрезов и иными данными, которые могут служить исходным материалом для геологического дешифрирования, пунктов минерализации и рудопроявлений, уже установленных рудных тел и разведанных рудных полей.

Таким же путем может быть составлена карта четвертичных отложений и геоморфологическая карта.

Для удобства все установленные признаки дешифрирования геологических объектов следует сводить в сравнительные таблицы. При предварительном дешифрировании намечается сеть полевых маршрутов, места заложения скважин и горных выработок, а также полевых баз и площадок для посадки самолетов или вертолетов.

Результаты дешифрирования с аэроснимков переносятся на фотосхему, а контуры установленных геологических объектов и намечаемые маршруты — на топографическую основу. В конечном счете уже до выезда в поле на основании дешифрирования и изучения фондовых материалов на всю площадь работ составляются предварительные геологическая, геоморфологическая и другие карты.

Полевой этап

Основные задачи полевого дешифрирования заключаются в том, чтобы возможно полнее опознать и оконтурить на аэроснимках изображения геологических объектов. При этом полностью используются данные предварительного дешифрирования; перед каждым маршрутом следует просмотреть под стереоскопом все снимки подлежащего изучению участка и установить конкретное направление маршрутов.

При полевом дешифрировании выявляются связи между геологическим строением и элементами геоморфологических ландшафтов, проверяются и увязываются все данные предварительного дешифрирования. В маршруте точки наблюдения (места описания обнажений и горных выработок, отбора образцов, рудопроявлений и т. п.) указываются на аэроснимках и на топооснове.

Полевое дешифрирование аэрофотоматериалов можно вести не по всей площади исследования, а на ключевых участках. С этой целью при предварительном дешифрировании намечаются площади, характеризующиеся общностью ландшафтных

условий, среди которых выбирают наиболее представительные для выполнения полевых исследований. Остальные части аэроснимков дешифрируются путем экстраполяции признаков, установленных на ключевых участках. Этот вид дешифрирования применяется главным образом при тематических работах.

В полевых условиях может быть использован метод инструментального профилирования. Он заключается в том, что всю площадь пересекают маршрутами, выбранными при предварительном дешифрировании. В маршруте производят детальное описание всех компонентов ландшафта, подбор эталонных снимков с отдешифрированными геологическими объектами. По всей линии маршрута ведется построение профилей с определением относительных превышений рельефа, элементов залегания, мощностей пород.

При полевом дешифрировании после окончания маршрута вновь производят просмотр под стереоскопом аэроснимков всех изученных тем или иным методом и обобщение собранных в поле материалов. Затем результаты дешифрирования снимков переносят на смежные снимки, которые будут использованы в следующих маршрутах, и на фотосхему (или фотоплан). Обычное составление геологической карты на фотосхеме (или фотоплане) опережает составление карты на топооснове. На полевую геологическую карту масштабов съемки с аэрофотосхем наносят основные, геологические объекты, но ее не следует перегружать деталями.

Окончательный этап

Окончательное дешифрирование аэроснимков производится после завершения полевых работ. При этом должны быть использованы выводы по стратиграфическому расчленению осадочных и метаморфических толщ, наблюдения над интрузивными породами, данные по полевому дешифрированию контактной печати. При окончательном дешифрировании привлекают материалы лабораторного исследования горных пород и, если необходимо, измерения на стереофотограмметрических приборах. Полезно составить сводку признаков дешифрирования всех геологических тел, которая может быть использована при дальнейших работах на заснятой и смежных территориях.

Данные окончательного дешифрирования позволяют уточнить контуры геологических тел на фотосхемах, отдешифрированных в полевых условиях.

При окончательном дешифрировании выясняется много деталей, не замеченных при предварительном и полевом дешифрировании, и выправляются все ранее допущенные неточности и неувязки. Особенно много данных при повторном дешифрировании появляется при изучении жильных серий, контуров и деталей строения интрузивных массивов.

Для отражения внутренней тектоники выделенных на геологической карте стратиграфических единиц в пределах их контуров следует указать фотомаркирующие горизонты, перенося их с контактных отпечатков или фотосхем. При их выборе

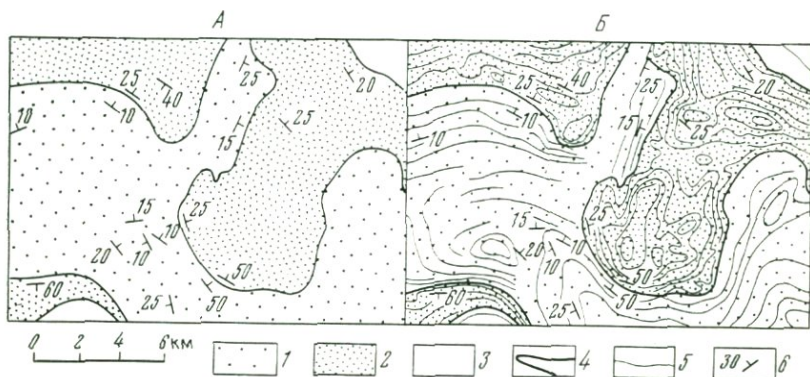


Рис. 66. Пример геологической карты, составленной без использования аэроснимков (А), и той же карты с нанесенными на ней «фотомаркирующими» горизонтами (Б).

1 — красноцветные песчаники и конгломераты франского яруса; 2 — известняки фаменского яруса; 3 — нижний карбон; 4 — геологические границы; 5 — фотомаркирующие горизонты, отдешифрированные на аэрофотоснимках и частично прослеженные на местности; 6 — элементы залегания

следует останавливаться на тех, которые достаточно четко выделяются и имеют большую протяженность. На рис. 66 приведена геологическая карта, составленная с использованием аэроснимков, но без отражения внутреннего строения выделенных стратиграфических единиц, и та же карта, на которой указаны «маркирующие» горизонты.

Построение профилей и геологических разрезов

Профили могут строиться как прямолинейные, между двумя заданными точками местности, так и вдоль контура, отдешифрированного на аэроснимке (речной долины, хребта и др.). В число точек профиля обычно включают точки, в которых наклон профиля заметно меняется, и точки, лежащие на пересечении профиля с отдешифрированными контурами, разрывными нарушениями и т. д. Основание профиля можно строить на фотоплане, а при наклоне склонов менее 10° и непосредственно на аэроснимке. Если склоны местности крутые, а фотооснова отсутствует, то профиль строится на универсальном стереоприборе или с помощью радиал-пантографа.

Высоты точек профиля измеряются на любом стереоприборе или измерительном стереоскопе, но более точные результаты получаются на ГС-4 или универсальном стереоприборе. Сущест-

буют специальные приборы для построения профилей — профилографы, однако серийно они пока не выпускаются.

Строить профили по аэроснимкам, а не по топокарте, целесообразно только, если важны детали микрорельефа или если нет топокарты масштаба, крупнее 1 : 100 000. Превышения и уклоны между удаленными точками проще и точнее определяются по топокарте масштаба 1 : 25 000.

Построение профиля с помощью измерительного стереоскопа (стереометра) и фотоосновы. Излагаемая методика относится как к измерительным стереоскопам (стереопантометру, стереоскопу ЗС, интерпретоскопу и др.), так и к стереометрам СТД-1, СТД-2, ГС-2, и ГС-4, используемым как измерительные стереоскопы, т. е. с отключенными (установленными на нули) корректорами. Она рассчитана на построение детальных профилей, горизонтальный и вертикальный масштаб которых в 5—15 раз крупнее масштаба имеющейся топокарты. Такое увеличение масштаба позволяет выявить и изучить микрорельеф, отсутствующий на карте. В то же время превышения удаленных точек определяются лишь приблизительно, т. е. весь профиль может быть деформирован (прогнут) или слегка наклонен вследствие наклона аэроснимков. Этот дополнительный прогиб или наклон достигает 1—2°, если аэросъемка выполнена с гиостабилизацией, и 3—5°, если без нее. Деформацию профиля можно почти полностью исключить так называемым горизонтированием, рассмотренным ниже.

Линия основания профиля должна быть нанесена на одном из снимков стереопары, так как без этого неясно, на каких точках производить стереоизмерения. Она должна быть и на фотооснове, с которой далее можно скопировать неискаженные плановые положения точек профиля. После ее построения и разметки точек, превышения которых над уровнем основания профиля требуется определить, эти превышения измеряют и вычисляют по методике, изложенной в главе III. Профиль строят, перенося на миллиметровку в заданном горизонтальном масштабе разметку линии основания и откладывая от этой линии в заданном вертикальном масштабе измеренные превышения точек.

Горизонтирование профиля. Если длина профиля, построенного изложенным способом, более 10—15 мм в масштабе аэроснимка, то его нужно горизонтировать, т. е. перейти от измеренных превышений, искаженных из-за влияния наклона аэроснимков и базиса съемки, к истинным. Изложим наиболее простой способ горизонтирования (рис. 67). Пусть профиль построен по измеренным превышениям и прямая с точками 1—30 — его линия основания. Из этих точек выбирают две, которые можно опознать на карте — опознаки I и II (на рис. 67 это точки 3 и 29). С карты снимают истинное превышение h_0

точки II над I , а из данных стереоизмерений выписывают их измеренное превышение h . На вертикальной прямой, проходящей через точку II , откладывают отрезок $\overline{II-II^0}$, изображающий в принятом вертикальном масштабе профиля величину

$$\Delta h = h - h_0.$$

Если $\Delta h > 0$, то точка II^0 должна быть выше линии основания, в противоположном случае — ниже (на рис. 67 $\Delta h = -12$ м и отрезок $\overline{II-II^0}$ отложен вниз). Далее проводят прямую $I-II^0$. Она является исправленным основанием профиля, и от нее можно отсчитывать истинные высоты точек.

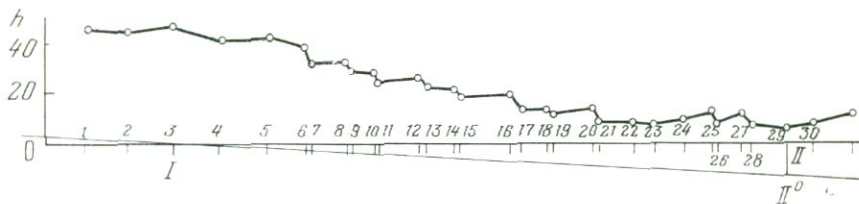


Рис. 67. Профиль, построенный по аэроснимкам масштаба 1 : 30 000, снятым АФА с $f=100$ мм. Горизонтальный и вертикальный масштаб профиля 1 : 2 000. Горизонтирование проведено по опознакам I и II . Прямая $I-II^0$ соответствует горизонтальной прямой местности

Горизонтирование по двум опознакам допустимо, если проекция линии основания профиля на начальное направление аэроснимка не превышает 20 мм (длина самой линии основания может быть и много больше). В противном случае профиль приходится разбивать на две или более части и горизонтировать каждую часть отдельно.

Измерение на ГС-4. Работа без использования корректоров выполняется так же, как на измерительных стереоскопах. Для введения коррекций нужна большая подготовительная работа (см. главу III). После ее выполнения, когда корректоры установлены надлежащим образом, измерение и вычисление превышений профиля ведется по изложенной выше методике, но превышения h получаются неискаженными, а построенный по ним профиль — свободным от деформаций и значительно более точным. Работа на ГС-4 с использованием корректоров целесообразна, если в пределах стереопары требуется построить много профилей.

Построение профиля на универсальных стереоприборах. Это самый точный и производительный способ.

На стереомикрометре профили строят графоаналитическим способом. На планшет устанавливают масштаб, близкий к максимальному для прибора и кратный заданному горизонтальному масштабу профиля. Профиль вдоль контура обводят маркой прибора, нанося чертежным устройством его точки на

планшете и записывая их превышения, снятые со шкалы прибора. Положение точек на планшете свободно от искажений. Основание профиля строят в заданном масштабе на миллиметровке, снимая возможно точнее (например с помощью женеvской линейки или измерительной лупы) расстояния между его точками с планшета.

Для проведения прямолинейного профиля наводят марку прибора на его конечные точки и наносят их на планшет. Для наблюдения модели вдоль прямой, проходящей через эти точки, на планшете к ним прикладывают линейку и следят, чтобы игла чертежного устройства перемещалась, касаясь края этой линейки. При этом марка прибора перемещается по стереомодели вдоль профиля. Плановое положение точек, подлежащих нанесению на профиль, накальвают на планшете. Их превышения определяют, снимая отсчеты по шкале прибора. Профиль на стереомикрометре можно строить как с использованием высотного корректора прибора, так и без него. Если корректор не использовали, а деформации профиля нужно устранить, то его следует горизонтировать. Одиночные профили, подлежащие горизонтированию по двум точкам, целесообразно строить без использования корректора. Серию профилей, а также профили, проводимые вдоль сильно изогнутых контуров или требующие горизонтирования по трем точкам, следует строить с использованием высотного корректора.

На прецизионных универсальных стереоприборах профили строят аналитически, т. е. после ориентирования и горизонтирования стереомодели снимают координаты x , y и z точек со шкал прибора и строят основание профиля и сам профиль сразу в заданных масштабах. При этом прямолинейный контур обводят маркой, так же как и на стереомикрометре. Этим способом можно строить профили, масштабы которых в несколько десятков раз крупнее масштаба аэрофотосъемки и имеющейся топокарты. В некоторых организациях разработаны и используются дополнительные устройства к универсальным стереоприборам, позволяющие проводить профили не по точкам, а непрерывно, т. е. более плавно, с максимально точной передачей уклонов.

Построение геологических разрезов. Для решения этой задачи между концами разреза одним из изложенных выше способов строят прямолинейный профиль в заданных вертикальном и горизонтальном масштабах. Далее измеряют элементы залегания отдешифрованных контактов и разрывных нарушений, пересекающих профиль. При этом пластовые треугольники выбирают так, чтобы их центр располагался на линии профиля или возможно ближе к ней. Углы α' наклона выходов этих объектов на профиле вычисляются по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{m_r}{m_B} \cos(A - A_0) \operatorname{tg} \alpha, \quad (58)$$

где α и A — угол и азимут падения контакта или разрывного нарушения;

A_0 — азимут профиля;

m_H и m_B — знаменатели горизонтального и вертикального масштаба профиля.

Азимут профиля берут в направлении, образующем с направлением падения острый угол.

Далее разрез строят так же, как это делается по профилю, снятому с топокарты, и углам α' , измеренным в поле.

Комплексное применение аэросъемки и наземных стереофотограмметрических работ (фототеодолитной съемки)

Плановые аэроснимки высокогорных районов, даже обладающие хорошей геологической дешифрируемостью, не могут быть изучены с необходимой полнотой, так как скалистые и об-



Рис. 68. Участок высокогорного рельефа, типичный для производства фототеодолитной съемки

рывистые участки склонов не просматриваются вследствие своей крутизны или затененности в момент фотографирования и являются по существу «мертвыми пространствами».

Между тем на крутых склонах располагаются самые лучшие обнажения для составления опорных стратиграфических разрезов, решаются многие вопросы тектоники, осуществляются поисковые работы, инженерно-геологические наблюдения и т. п. (рис. 68).

Все эти недостатки в значительной степени могут быть исправлены при применении наряду с плановой аэрофотосъемкой наземной фототеодолитной съемки, а также обычных фотоснимков. При таком комплексном использовании фотографий одни и те же участки местности и геологических объектов могут быть изучены по их плановым и перспективным изображениям в наиболее благоприятных масштабах, различных проекциях ракурсах, условиях освещенности и т. д.

Стереофотограмметрическая съемка основана на стереоскопической съемке местности специальной фотокамерой, устанавливаемой на земле. Такая фотокамера, называемая фототеодолитом, снабжена ориентирующими устройствами и фототеодолитом, позволяющими одновременно с фотографированием местности производить необходимые геодезические измерения, обеспечивающие получение исходных данных для последующего стереофотограмметрического изучения снимков. Получение стереоскопических наземных фотографий достигается путем фотографирования одного и того же объекта с двух различных точек стояния фототеодолита, т. е. определенного базиса съемки, длина и азимут которого точно измеряются. На полученной таким путем стереопаре наземных снимков в камеральных условиях может быть определено пространственное положение любых точек местности и получены их геодезические координаты.

Для выполнения фототеодолитной съемки применяется фототеодолит фирмы Цейсс (TAN и Photheo). Съемка производится на сверхконтрастные фототеодолитные пластинки форматом 13×18 см.

М. Н. Петрусевич и Л. И. Казик рекомендуют в зависимости от поставленных задач и особенностей района производить следующие виды фототеодолитной съемки:

1) площадную съемку с базисов с целью составления детальных топографических и геологических карт масштабов $1 : 10\,000$, $1 : 5\,000$ и $1 : 2\,000$;

2) съемку с 1—2 базисов крутых труднодоступных скалистых склонов, плохо просматриваемых на плановых аэроснимках, с целью составления детальных геологических разрезов, стратиграфических колонок и геологических карт в вертикальной проекции;

3) съемку с базисов, расположенных вкrest простиранья складчатой структуры с целью составления сводных геологических разрезов.

При геологическом дешифрировании (полевым и камеральном) аэроснимков и наземных стереоснимков особое внимание следует уделять выделению и прослеживанию по простиранью опорных фотомаркирующих слоев и контактов, занимающих определенное положение в стратиграфическом разрезе.

Все измерительные и картосоставительские работы рекомендуется выполнять с применением геологических стереометров

ГС-2 или ГС-4, стереопроектора, рисовального прибора ЛЮЦ и стереорисовального прибора РП-6.

Наиболее целесообразно применение фототеодолитной съемки при следующих видах геологических работ: при крупномасштабном, а в ряде случаев и среднемасштабном геологическом картировании, особенно в районах сложного геологического строения, составлении геологических, структурных и геоморфологических карт в связи с детальным изучением нефтеносных и угленосных районов, составлении геологических карт рудных полей на различных стадиях изучения месторождений, проведении различного типа инженерно-геологических изысканий, и в первую очередь выполняемых в связи с железнодорожными, шоссейными, гидротехническими работами, проводимыми в горных районах, при документации разведываемых, разрабатываемых месторождений различных полезных ископаемых с помощью открытых карьеров, а также при систематических наблюдениях за крутыми скальными, осыпными, обвальными, оползневыми или лавиноопасными склонами на участках инженерных сооружений.

Высокая производительность работ и хорошее качество материалов, получаемых на основе применения фототеодолитной съемки, достигается при совместной работе геолога и фотограмметриста на всех стадиях полевых и камеральных работ.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ, РЕКОМЕНДУЕМЫХ ПО КУРСУ «АЭДРОМЕТОДЫ ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ»

К теме: Аэрофотосъемка и геометрические свойства аэрофотоснимков.

Оценка фотограмметрического качества залета по репродукции накидного монтажа. Определение масштаба аэрофотоснимка, направления на север и азимута отрезка на аэрофотоснимке. Расчет искажений, вызванных рельефом; введение поправок за рельеф. Измерение длины наклонных отрезков.

Аудиторная работа — 2 часа.

К теме: Стереоскопические наблюдения и измерения.

Наблюдение стереопары под зеркально-линзовым стереоскопом и под стереоскопом с большим увеличением. Получение стереоэффекта без стереоскопа. Визуальная оценка крутизны склонов. Подготовка стереопары к измерениям. Измерение продольных параллаксов.

Аудиторная работа — 2 часа.

К теме: Дешифрирование горизонтально и наклонно залегающих толщ.

Дешифрирование аэрофотоснимка с горизонтальным залеганием пород и новейшим континентальным покровом по выборочному стратиграфическому разрезу.

Аудиторная работа — 2 часа.

Определение элементов залегания на моноклиналях или на крыльях складок по пластовым треугольникам.

Внеаудиторная работа — 2 часа.

Определение элементов залегания и мощностей пород с помощью измерения продольных параллаксов.

Аудиторная работа — 2 часа.

Определение элементов залегания по пластовым треугольникам и мощностей пород с применением ГС-4.

Аудиторная работа — 2 часа.

К теме: Дешифрирование складчатых форм залегания и разрывных нарушений.

Дешифрирование аэроснимка с простым складчатым строением по пластовым треугольникам и выборочному стратиграфическому разрезу.

Аудиторная работа 2 часа.

Дешифрирование аэроснимка с изображением складчатого строения, осложненного разрывами по отдешифрированному выборочному разрезу.

Аудиторная работа — 2 часа.

К теме: Дешифрирование магматических и метаморфических пород.

Дешифрирование аэрофотоснимка с изображением эффузивных и гранитоидных пород, интрузивных даек и приконтактных частей интрузивного массива по отдешифрированному выборочному разрезу. Желательно применение цветных аэроснимков.

Аудиторная работа — 2 часа.

Дешифрирование метаморфических комплексов, гранито-гнейсовых куполов и древних интрузивных массивов по отдешифрированному выборочному разрезу.

Аудиторная работа — 2 часа.

К теме: Дешифрирование новейшего континентального покрова.

Дешифрирование аэроснимка с различными типами новейших континентальных отложений.

Аудиторная работа — 2 часа.

К теме: Геоморфологическое дешифрирование.

Дешифрирование аэроснимка с аккумулятивными формами рельефа и аэроснимка с эрозийными формами рельефа.

Аудиторная работа — 2 часа.

Выявление на аэроснимке элементов глубинного строения по результатам дешифрирования мощного новейшего континентального покрова и геоморфологических элементов.

Аудиторная работа — 2 часа.

Построение геологического разреза и стратиграфической колонки по заданному направлению на аэроснимке. Желательно применение цветных и спектрально-аналитических аэроснимков.

Внеаудиторная работа — 6 часов.

К теме: Перенос отдешифрированных контуров с аэроснимков на топооснову.

Стереоскопический перенос данных с аэроснимков на фотооснову. Перенос данных на рисовальном приборе ЛЮЦ. Перенос контуров на стереопантометре и редуцирование материалов. Перенос контуров на радиал-пантографе РП-2. Знакомство с работой на универсальном стереопробире.

Аудиторная работа — 2 часа.

Содержание курсовой работы

По выборочному отдешифрированному стратиграфическому разрезу отдешифрировать аэроснимок (или 2—3 аэроснимка) с изображением сложного складчатого строения, разрывов и интрузивных пород. Определить элементы залегания и мощность пород. Перенести данные дешифрирования с аэроснимка на топооснову (иного масштаба). Составить геологическую карту на топооснове, стратиграфическую колонку и геологический разрез.

Курсовая работа оформляется в виде листа геологической карты на топооснове, сопровождаемой условными обозначениями, стратиграфической колонкой и двумя геологическими разрезами.

Необходимое внеаудиторное время — 10—12 часов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ангина Н. П., Смирнов Л. Е. Составление фотосхем. Изд. ЛГУ, 1968, 136 с.

Анисимова Н. Д., Высоцкая Г. Б., Херасков Н. Н. Использование материалов аэрофотосъемки при геологическом картировании масштаба 1 : 50 000. Алтае-Саянская область. М., «Недра», 1967, 60 с.

Аржанов Е. П., Ильин В. Б. Аэрофотосъемочное оборудование. М., «Недра», 1972, 183 с.

Аэрометоды при геологической съемке и поисках полезных ископаемых. Средняя Азия и Казахстан. Ред. Г. Ф. Лунгерсгаузен. М., «Недра», 1964, 142 с.

Аэрометоды при геологической съемке и поисках полезных ископаемых. Горный Алтай, Центральная Тува, Минусинская котловина, Енисейский край. Ред. Г. Ф. Лунгерсгаузен. М., «Недра», 1968, 228 с.

Аэрометоды геологических исследований. Ред. В. К. Еремин. М., «Недра», 1971, 703 с.

Аэросъемка и ее применение. Тр. IX Всесоюз. совещ. по аэросъемке. Изд. АН СССР, 1967, 416 с.

Башилова Н. Н., Махин Г. В., Еремин В. К. Исследование космических телевизионных снимков — средство тектонического районирования. Изв. высш. уч. завед., геол. и разв., 1973, № 7, с. 19—33.

Бобир Н. Я. Фотограмметрия. М., «Недра», 1965, 290 с.

Будько В. М., Доливо-Добровольский А. В., Радзевич Н. А., Бездетнова А. А. Комплексная интерпретация материалов аэросъемки при изучении структуры интрузивных массивов (на примере Кольского полуострова). М., «Недра», 1972, 140 с.

Воевода В. М., Глиндзич В. А., Циккель Л. М. Пособие по фотограмметрическим работам при геологическом дешифрировании. М., «Недра», 1967, 104 с.

Вопросы региональной геологии СССР. М., «Недра», 1971, 272 с.

Елович Е. Л., Долотов М. С., Шерухин Н. П. Использование материалов аэрофотосъемки при геологическом картировании масштаба 1 : 50 000. Приморский край. М., «Недра», 1969, 42 с.

Еремин В. К., Кац Я. Г. О методах космической геологии. Изв. высш. уч. завед., геол. и разв., 1973, № 7, с. 8—13.

Жученко А. Г., Стихин Ю. К. Геологическое дешифрирование аэроснимков Урала, Зауралья и Предуралья. Свердловск, 1967, 138 с.

Звягельский А. А. Использование материалов аэрофотосъемки при геологическом картировании и поисках полезных ископаемых масштаба 1 : 50 000—1 : 200 000. Юго-запад СССР (Украина). М., «Недра», 1969, 216 с.

Канфельд О. М., Котелков Р. П., Бендеев Н. С. Использование материалов аэрофотосъемки при геологическом картировании масштаба 1 : 50 000. Центральный и Восточный Казахстан. М., «Недра», 1967, 134 с.

Кислов В. В., Зантов И. Р. Практикум по фотограмметрии. М., «Недра», 1965, 188 с.

Козлов В. В., Снятков Б. А., Артемов А. В. и др. Использование аэрофото материалов при геологическом картировании и поисках полезных ископаемых масштаба 1 : 50 000—1 : 200 000. Северо-Восток СССР. М., «Недра», 1970, 114 с.

Коншин М. Д. Аэрофотограмметрия. М., «Недра», 1967, 348 с.

Лобанов А. Н. Аэрофототопография. М., «Недра», 1971, 550 с.

Мирошниченко В. П., Березина Л. И., Леонтьев Е. В., Толчельников Ю. С. Ландшафтный метод дешифрирования проявлений новейшей и современной тектоники для поисков погребенных нефтегазовых структур. М., «Недра», 1971, 116 с.

Михайлов А. Е. Структурная геология и геологическое картирование. 3-е изд. М., «Недра», 1973, 330 с.

Михайлов В. Я. Аэрофотография и общие основы фотографии. М. Геодиздат, 1959, 280 с.

Петрусевич М. Н. Аэрометоды при геологических исследованиях. М., Госгеолтехиздат, 1962, 405 с.

Петрусевич М. Н., Казик Л. И. Комплексное применение аэрофотосъемки и наземных стереофотограмметрических работ при детальном геологическом исследовании (фотогеологический метод). В кн.: Тр. IX Всесоюз. совещ. по аэросъемке «Аэросъемка и методы ее применения». М., «Недра», 1967, с. 231—235.

Организация и проведение групповых геологосъемочных работ. Ред. В. Н. Брюханов. Изд. ВИЭМС, 1971, 74 с.

Применение аэрогеологических и морфологических методов для изучения неотектоники и глубинного строения Русской платформы. Ред. Г. И. Раскатов. Изд. ВГУ, 1973, 104 с.

Раскатов Г. И. Прогнозирование тектонических структур фундамента и чехла древних платформ и форм погребенного рельефа средствами геолого-геоморфологического анализа. Изд. ВГУ, 1972, 108 с.

Рябухин А. Г. Специальные методы дистанционного изучения Земли для геологических целей. Изв. высш. уч. завед., геол. и разв., 1973, № 7, с. 140—149.

Севостьянов В. И., Ханн В. Е., Ярмолюк В. А. Значение космических методов в геологических исследованиях. Изв. высш. уч. завед., геол. и разв., 1973, № 7, с. 3—7.

Скирдов А. С. Стереофотограмметрия. М., Геодиздат, 1959, 540 с.

Фараджев В. А., Махин Г. В. Основные положения организации и производства групповой геологической съемки аэрофотогеологического картирования масштаба 1 : 200 000. М., «Недра», 1973, 62 с.

Фотограмметрическая обработка и дешифрирование аэроснимков. Ред. Г. Б. Гонин. М., «Наука», 1967, 168 с.

Шарков В. В., Гурьева З. И. Применение аэрометодов при изучении геологического строения мелководных частей морского дна. ЛАЭМ. Изд. АН СССР, 1954, 126 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие		3
Введение		4
Глава I.	Аэрофотосъемка	10
	Основные понятия	10
	Природные условия аэросъемки	13
	Технические условия аэросъемки	18
	Виды материалов аэросъемки	24
Глава II.	Геометрические свойства аэроснимков	27
	Влияние рельефа местности и способы его учета	27
	Влияние отклонений от идеального случая аэросъемки	33
	Измерения по одиночному аэроснимку	36
Глава III.	Стереоскопические наблюдения и измерения	42
	Стереоскопические наблюдения	42
	Определение превышений по стереопаре аэроснимков	45
	Точность определения превышений	49
	Стереоскопы	50
	Методика определения превышений на измерительных стереоскопах	53
	Стереофотограмметрические приборы	56
Глава IV.	Методы геологического дешифрирования аэрофотоснимков	59
	Задачи геологического дешифрирования	59
	Фотогеничность геологических объектов	60
	Дешифрирующие признаки	63
	Комплексное ландшафтное дешифрирование	68
	Применение цветной и спектральной аэросъемки	68
Глава V.	Дешифрирование горизонтально и наклонно залегающих толщ	70
	Графоаналитический способ измерения элементов залегания и мощностей пластов	74
	Особенности, возникающие при использовании разных стереоприборов	84
	Измерение элементов залегания и мощностей пластов на геологическом стереомере ГС-4	86
Глава VI.	Дешифрирование складчатых форм залегания и разрывов	88
Глава VII.	Дешифрирование магматических и метаморфических пород	99
	Дешифрирование вулканических пород	99
	Дешифрирование интрузивных пород	103
	Дешифрирование метаморфических пород	108

Глава VIII.	Дешифрирование новейшего континентального покрова	110
Глава IX.	Геоморфологическое дешифрирование	119
	Дешифрирование типов рельефа	120
	Дешифрирование форм рельефа	121
	Дешифрирование проявлений новейших и современных тектонических движений	125
	Измерение элементов микрорельефа	126
Глава X.	Использование для геологического дешифрирования геоботанических признаков	129
Глава XI.	Применение аэрофотоматериалов при поисках и разведке полезных ископаемых	131
Глава XII.	Дешифрирование глубинного геологического строения	138
Глава XIII.	Перенос отдешифрированных контуров с аэроснимков на топооснову	146
	Перенос контуров с использованием фотоосновы	147
	Рисовальные приборы для переноса данных с одиночных аэроснимков	151
	Оптические проекторы. Редуцирование и масштабирование карт	158
	Дешифрирование и перенос контуров на простейших стереоприборах	163
	Радиал-пантограф РП-2	170
Глава XIV.	Обеспечение геологических исследований материалами аэрофотосъемки	177
Глава XV.	Техника использования аэрофотоматериалов при геологических исследованиях	182
	Предварительный этап	183
	Полевой этап	184
	Окончательный этап	185
	Построение профилей и геологических разрезов	186
	Комплексное применение аэросъемки и наземных стереофотограмметрических работ (фототеодолитной съемки)	190
	Примерный перечень лабораторных работ, рекомендуемых по курсу «Аэрометоды при геологических исследованиях»	193
	Содержание курсовой работы	194
	Список литературы	195

*Александр Евгеньевич Михайлов,
Наталья Спиридоновна Рамм*

Аэрометоды при геологических исследованиях

Редактор издательства *Н. Г. Державина*
Обложка худ. *Г. А. Петрова*
Технический редактор *А. Е. Матвеева*
Корректор *Э. А. Ляхова*

Сдано в набор 24/III 1975 г.
Подписано в печать 4/IX 1975 г.
Т-16105 Формат 60×90¹/₁₆ Бумага № 1 Печ. л. 12,5
Уч.-изд. л. 12,74 Тираж 8 500 экз. Цена 46 коп.
Заказ 418/5125-1

Издательство «Недра», 103633.
Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19.

Московская типография № 6 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24

УВАЖАЕМЫЙ ТОВАРИЩ!
В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «НЕДРА»
ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ
НОВЫЕ КНИГИ

КУРС общей геологии. Учебное пособие. Изд. 2, перераб. и доп., 40 л. с ил. 20 000 экз. 1 р. 80 к. Авт.: Серпухов В. И., Шалимов А. И., Мореховский В. Н. и др.

Рассмотрены строение и состав Земли с учетом последних достижений геологии, геофизики, геохимии, космонавтики и др. Изложены геологические процессы и их результаты — вулканизм и интрузивный магматизм, метаморфизм, землетрясения, колебательные движения, деятельность ветра, подземных вод, рек, океана, указаны полезные ископаемые, связанные с этими процессами. Рассмотрены закономерности развития Земли, современные представления о возрасте океанов и материков и геотектонические гипотезы.

Во втором издании учтены последние достижения геологии, геофизики и геохимии; в двух новых главах рассмотрены данные о происхождении Земли на геологическом развитии океанического дна.

Книга является учебным пособием для студентов горнотехнических вузов специальностей 0101, 0102, 0107 и 0108.



ТОЛСТОЙ М. П., МАЛЫГИН В. А. Основы геологии и гидрогеологии. Учебник. 20 л. с ил. 10 000 экз., 84 к.

Книга содержит основные сведения о Земле и краткое изложение основ минералогии, петрографии, стратиграфии, исторической и динамической геологии, геологического картирования. Приведены сведения о подземных водах, их происхождении, составе, свойствах, условиях залегания и движения, режиме и балансе, особенно применительно к мелиорируемым территориям. Даны характеристика и инженерно-геологическая классификация грунтов, геологических и инженерно-геологических процессов и явлений с учетом задач гидромелиорации. Освещены вопросы гидрогеологических и инженерно-геологических исследований для гидромелиоративного строительства, охарактеризованы мелиорируемые территории СССР.

Учебник предназначен для студентов вузов по специальности «Гидромелиорация» и соответствует программе курса по геологии и гидрогеологии для этой специальности.



Интересующие Вас книги Вы можете приобрести в местных книжных магазинах, распространяющих научно-техническую литературу или заказать через отдел «книга—почтой» магазинов:

№ 17—199178. Ленинград, В. О., Средний проспект, 61;

№ 59—127412. Москва, И-412, Коровинское шоссе, 20.

Издательство «Недра»

46 коп.

1367

НЕДРА