

ИЗДАТЕЛЬСТВО САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Л. Е. Смирнов			

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ
МЕТОДЫ
ГЕОГРАФИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Л. Е. СМЕРНОВ

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
по классическому университетскому образованию
в области географии*

*Министерства образования и науки Российской Федерации
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальностям «География» и «Картография»*



ИЗДАТЕЛЬСТВО С.-ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
2005

УДК 528
ББК 26.12
С50

Жене,
Нине Петровне
Смирновой
посвящаю

Рецензенты: д-р географ наук, проф. А. М. Берлянт (зав. кафедрой картографии и геоинформатики МГУ им. М. В. Ломоносова)
д-р географ наук, проф. Ал. А. Григорьев (С.-Петербург. гос. ун-т)

*Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
факультета географии и геоэкологии*

С.-Петербургского государственного университета

ВВЕДЕНИЕ

Смирнов Л. Е.

С50 **Аэрокосмические методы географических исследований: Учебник.** — СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 2005. — 348 с.
ISBN 5-288-03638-1

В учебнике изложены основы аэрокосмических методов исследования Земли. Рассматриваются современные технические средства и природные условия воздушной и космической съемки, анализируются геометрические, изобразительные и информационные свойства снимков, представлены способы изменения на снимках, теоретические основы и технология дешифрирования, принципы аэрокосмического картографирования.

Предназначено для студентов старших курсов географических и других естественных факультетов университетов, а также для широкого круга специалистов, использующих аэрокосмические методы в преподавательской, научной и производственной деятельности.

ББК 26.12

ISBN 5-288-03638-1

© Л. Е. Смирнов, 2005
© Издательство
С.-Петербургского
университета, 2005

ПРЕДИСЛОВИЕ

Первое издание учебного пособия для студентов географических факультетов университетов «Аэрокосмические методы географических исследований» было опубликовано в 1975 г. По свидетельству проф. Ю. Ф. Книжникова (МГУ) эта книга, «далеко перешагнула рамки учебного пособия для студентов, многие годы служила методической основой аэрокосмических исследований в университетах страны».

Однако за прошедшие годы ее содержание во многом устарело. Изменились технические средства воздушных и космических съемок, расширилась область применения материалов съемок, методы и средства дешифрирования снимков усложнились и результаты дешифрирования стали более надежными.

С аэрокосмических методов изучения Земли спала пелена необычности. Дистанционное зондирование стало вполне обыденным делом, хотя и достаточно сложным и дорогостоящим. Переход к рыночной экономике потребовал соблюдения разумного соотношения между затратами на изготовление съемочных систем, стоимостью организации и исполнения съемок и ценностью получаемых материалов. Аэрокосмическая съемка должна не только открывать простор для разнообразных исследований и решения природопользовательских проблем, но и быть экономически целесообразной.

Вместе с тем аэрокосмические методы продолжают оставаться самым эффективным способом изучения Земли. Более того, их технические средства, технология обработки материалов съемок, приемы дешифрирования снимков интенсивно развиваются и совершенствуются. Этому способствовали большие возможности, открывшиеся с началом космических съемок и компьютерной обработкой снимков.

Когда возникла задача создания спутниковой системы космического наблюдения и съемки нашей планеты, Академией наук страны было принято решение о специальном управлении этой сложной

научно-технической проблемой — космическими исследованиями Земли. В 1976 г. была образована Комиссия Академии наук по изучению природных ресурсов с помощью космических средств, объединявшая усилия многих организаций и ведомств. В 1987 г. постановлением Президиума Академии наук был основан Научный совет по космическим исследованиям для народного хозяйства. Эти мероприятия сопровождались созданием новых учреждений и организаций, занятых разработкой и внедрением аэрокосмических методов в практику работ и использования заинтересованными потребителями. Выросла потребность в кадрах природопользователей, подготовленных для работы с материалами съемок.

Определенным образом все это учтено в планах подготовки и программах обучения географов всех направлений, специальностей и специализаций. Несмотря на стремление ряда университетов уравнивать аэрокосмические методы с другими методами исследования Земли, потребность в специалистах, владеющих приемами и способами использования материалов дистанционного зондирования, остается высокой. Это связано, прежде всего, с увеличением фронта работ по созданию геоинформационных систем для картографирования, ведения экологического мониторинга, составления земельного и водного кадастров и др.

Очевидно, что все географы, особенно связанные с решением проблем экологии, природопользования и охраны природы, должны иметь знания и навыки, необходимые для работы с материалами съемок. Для картографов, занимающихся съемкой территории, геоморфологов, гидрологов и океанологов, ландшафтоведов владение аэрокосмическими методами исследований — профессиональная необходимость.

Более пяти десятков лет автор читает студентам факультета географии и геоэкологии Санкт-Петербургского государственного университета курс «Аэрокосмические методы географических исследований», который введен на географическом факультете ЛГУ еще в 1948 г. За прошедшие годы была отработана методика обучения, усовершенствованы учебные планы и программы, структура которых использована при формировании данного учебного пособия.

В книге в систематизированном виде изложены основные вопросы и проблемы, составляющие учение о методе. Приведены общие сведения о технических средствах и способах съемок, анализируются геометрические, изобразительные и информационные свойства снимков, излагаются теоретические основы и технология дешифрирования и картографирования по материалам аэрокосмических съемок.

Сложность задачи состояла в том, что основы метода не могут быть исчерпывающе изложены в форме законченной теории, поскольку метод не образует науки. Его теоретическую часть составляет учение о методе, а предметная определяется областью приложения метода. Это привело к тому, что существует много опубликованных трудов, посвященных использованию аэрокосмических методов в самых разнообразных областях науки и практики, и мало учебников и учебных пособий, излагающих основы метода.

Именно поэтому автор считал возможным и необходимым создать учебник, в котором давалось бы целостное представление о сущности аэрокосмического метода изучения Земли, где описывались бы основные идеи, проблемы и опыт использования материалов съемок в географических исследованиях.

Общая цель курса — научить студентов логически обоснованно и географически правильно анализировать аэрокосмические снимки, расшифровывать их содержание, уметь обращаться с приборами и инструментами. Имеется в виду, что в дальнейшем это умение будет приложено к решению конкретных задач в той отрасли географической науки, в которой специализируется студент.

Пособие предназначено для студентов географических и других естественных факультетов, представляющих науки о Земле. Вместе с тем автор полагает, что оно может быть полезным для широкого круга специалистов, использующих материалы съемок в преподавательской, научной или практической деятельности.

Переработка содержания книги оказалась достаточно трудным делом. Автор благодарит своих помощников — Любу и Андрея, взявших на себя труд компьютерного оформления книги, а также Татьяну Михайловну Петрову, осуществившую научную редакторскую правку текста, и Рыжика за постоянный интерес к работе.

ВВЕДЕНИЕ

0.1. АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ. ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ

Аэрокосмические методы в географии — это методы изучения закономерностей строения и развития географической оболочки Земли в целом, составляющих ее компонентов, элементов или комплексов (систем) визуально с летательных аппаратов или путем дешифрирования (интерпретации) записи отраженного или собственного электромагнитного или иного излучения. Особенность этой области знаний и умений состоит в том, что, как ранее сказано, метод не образует науки. Учение о методе чрезвычайно подвижно, поскольку, помимо собственных достижений, заимствует результаты исследований очень разных наук: географии, геологии, информатики, физики, психологии и др. Предметная же часть метода — это безбрежная и непрерывно расширяющаяся область его приложений, далеко выходящая за границы географии.

Практически аэрокосмические методы включают в себя две части: *съемку* — физико-техническую задачу и *обработку материалов съемки* в соответствии с интересами той науки или отрасли практики, которая использует метод.

Воздушная и космическая съемка — это комплекс тесно связанных между собою процессов: летно-съемочных, лабораторных, геодезических, вычислительных, фотограмметрических, в результате которых получают материалы съемок. Различаются две формы их представления. Это, во-первых, и, главным образом, снимки и монтажи из них. Во-вторых, графики и регистрограммы — в них зафиксированы оптические и иные физические свойства объектов съемки (рис. 0.1.).

По техническим средствам и способам съемок различаются три основных класса: *фотографическая, фотозлектронная и геофизическая*.

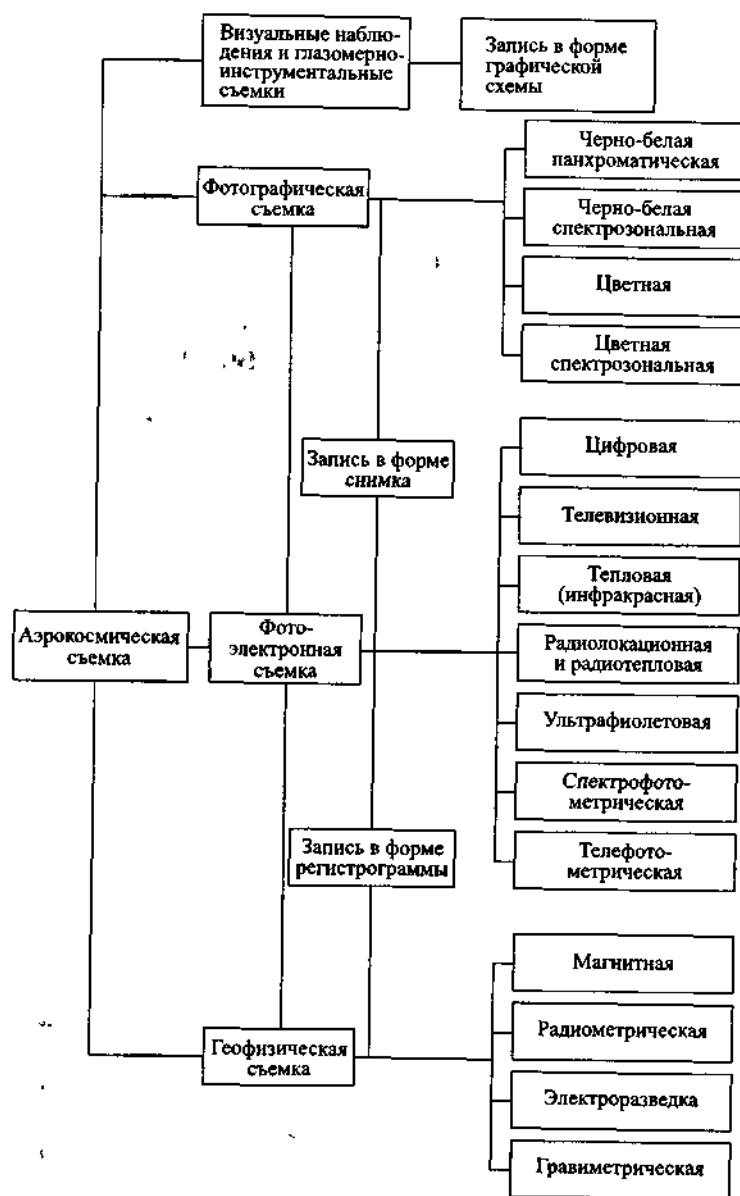


Рис. 0.1. Виды аэрокосмических съемок

Наиболее эффективной и самой распространенной является фотографическая съемка. Она основана на регистрации отраженного или собственного электромагнитного излучения Земли в видимой и ближайших невидимых ультрафиолетовой и инфракрасной зонах. Технические средства фотографической съемки хорошо разработаны, накоплен опыт интерпретации аэрофотографических изображений. Современные светочувствительные пленки и фотографическая оптика позволяют получить высококачественные снимки с определенными дешифровочными свойствами.

Фотоэлектронная съемка возможна как в видимой зоне спектра, так и за ее пределами (рис. 0.2).

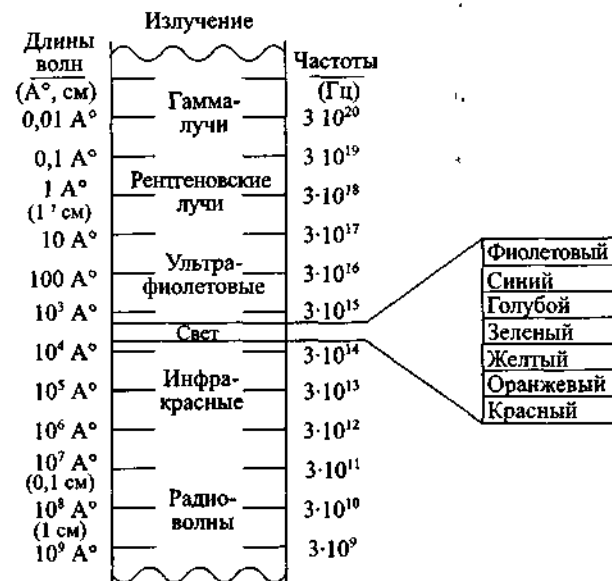


Рис. 0.2 Зоны электромагнитного спектра

Фотоэлектронная техника позволяет вести съемку в зонах спектра, которые ранее не использовались для съемки. Стала возможной съемка вне электромагнитного спектра, например, звуколокационная (акустическая) и молекулярная («запахов»). Сама съемка при этом нередко приобретает характер зондирования, т. е. регистрации свойств не лежащих на поверхности объектов съемки. Фотоэлектронная съемка может быть пассивной и активной. Пассивная съемка заключается в регистрации солнечной радиации, отраженной земной поверхностью.

стью или собственного, например теплового, излучения земных объектов. При *активной съемке* местность облучается источником лучистой энергии, установленным на летательном аппарате. Регистрируется отраженный сигнал или вторичное, стимулированное, излучение земных объектов. Обычная фотографическая съемка носит, как правило, пассивный характер. К активной принадлежат съемки с использованием радара, лазера.

Съемка может производиться в одной, например видимой, зоне спектра, а также одновременно в разных его зонах — так называемая *многоканальная*, или *мультиспектральная*, съемка. Съемка в очень узкой зоне спектра называется *спектрозональной*.

Многоканальная съемка производится в трех-четырех и более широких или узких зонах спектра. При этом используются методы фотографии и оптико-электронная техника. Большая информативность многоканальных изображений, возможность воспроизведения с их помощью разнообразных по цвету (тонам) изображений делают такой вид съемки очень эффективным способом изучения территории. Поэтому он используется для съемки как с самолетов, так и со спутников, особенно предназначенных для исследования земных ресурсов.

Съемка с воздушных и космических аппаратов в широкой полосе электромагнитного спектра увеличивает возможности исследования, во-первых, потому, что расширяет границы человеческого чувственного восприятия. Во-вторых, становится осуществимой съемка в условиях, которые ранее считались неблагоприятными, например ночью или при сплошной облачности (табл. 0.1.).

В зависимости от конструктивных особенностей съемочных систем различаются кадровые, например обычные, фотоаппараты, и сканирующие, например радиолокационные, и др. В основе фотоэлектронного метода лежит принцип сканирования местности или изображения, спроектированного объективом на светозлектрический преобразователь. При этом изображение может воспроизводиться на экране приемника и затем фотографироваться кадр за кадром, как, например, в телевизионной аппаратуре. Регистрация может также вестись непрерывно, путем последовательной фиксации каждой строчки, тогда изображение получается в виде полосы.

Геофизические виды съемок включают измерение гравитационного, электрического и магнитного полей Земли, а также регистрацию гаммаизлучения. По существу все они построены на использовании электронной техники, но пока имеют сравнительно узкую область приме-

Таблица 0.1. Зоны спектра, используемые при аэрокосмической съемке Земли

Диапазон	Зона спектра	Длины волн	Виды съемки	Время съемки	Области применения
Микро-волновый	Дециметровый	10–100 см	Радиолокационная (активная) съемка	В любое время суток и при любой погоде	Геологическая, геоботаническая и геофизическая съемка. Ледовая разведка, съемка ледников. Изучение термических условий поверхности вод и земли
	Сантиметровый	1–10 см	Радиотепловая (пассивная) съемка		
	Миллиметровый	0,1–10 см			
Инфракрасный (ИК)	Далекая ИК зона	8–20 мкм	Инфракрасная (тепловая). Съемка сканирующими радиометрами. Лазерная съемка	В любое время суток	Геологическая съемка. Исследование вулканических явлений, выход термальных вод. Съемка вод: изучение течений, загрязнение. Ледовая разведка
	Средняя ИК зона	3–6 мкм			
	Ближняя ИК зона	0,78–3 мкм	ТВ и фотографическая ИК съемка. Тепловая съемка радиометрами	день	Изучение растительности суши и вод
Видимый	Оранжево-красный	590–760 нм	Фотографическая съемка: черно-белая и цветная, спектрозональная. ТВ съемка. Приемники с электронным сканированием	только днем	Разнообразное использование материалов съемки в географии, геологии, экологии и картографии
	Зелено-желтый	500–590 нм			
	Синий	390–500 нм			
Ультрафиолетовый (УФ)	Ближняя УФ зона	0,32–0,38 мкм	Фотографирование через кварцевый объектив. Люминесцентная съемка	днем	Геологическая разведка
	Средняя УФ зона	0,28–0,32 мкм			
	Дальняя УФ зона		Не используется, так как поглощается земной атмосферой		

нения — поиск полезных ископаемых — и продолжают развиваться как методы геологической разведки. Особенность этих видов съемки — малая разрешающая способность, что не позволяет производить съемку с больших высот.

Две составные части аэрокосмических методов — съемка и использование материалов съемки (дешифрирование снимков) развиваются интенсивно. За прошедшие 100 лет, особенно с развитием космической съемки Земли, накоплен громадный опыт в использовании дистанционных методов изучения Земли, разработаны основы методики и технология дешифрирования снимков. Для современных аэрокосмических методов характерно большое разнообразие приемов и технических средств съемок, съемочных материалов и способов преобразования изображений на снимках.

Следует отметить, что в аэрофотосъемке ведущее положение всегда занимала *фотограмметрия* — наука о метрических свойствах аэроснимков и измерения на них. Это обеспечило высокую точность обработки снимков и создаваемых по ним карт.

Дешифрирование является формой использования материалов съемки. Это сложный процесс, в результате которого получается и используется заложенная в материалах съемки информация об объекте исследования. Результаты дешифрирования могут быть представлены в виде текста, таблиц или графических схем. Однако чаще всего это схемы или карты различного содержания и точности.

0.2. АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ГЕОГРАФИИ

Каждая наука имеет свой объект изучения и соответствующие ему методы исследований, тесно связанные между собой. Функция науки — объяснение. Задача любой науки — производство знаний. Первичным материалом для этого служит информация о предмете исследования, получаемая путем наблюдений и измерений.

Предметом интересов географии является географическая (или ландшафтная) оболочка Земли — особого рода (возможно, уникальное) образование в зоне контакта и взаимного проникновения литосферы, гидросферы, атмосферы и биосферы. Относительно размеров самого человека она огромна и, что самое главное, человек — ее исследователь — не только существует, но и возник в ней, она — его «колыбель» и жизненная среда.

Поэтому естественно, что первое знакомство людей со средой обитания было прямым наблюдением сначала в ближайшем окружении, затем все далее от привычных мест. Для этого предпринимались все более отдаленные и длительные путешествия, экспедиции, которые принесли человечеству Великие географические открытия. С тех пор и по наше время география и путешествия нераздельно сосуществуют в умах людей, хотя обстоятельства изменились, и уже давно география от описания Земли перешла к ее изучению, выяснению законов образования, функционирования и взаимодействия природных систем, слагающих географическую оболочку Земли, включая те акты человеческого воздействия на природу, которые теперь называются природопользованием.

Однако накопление фактов в человеческой памяти и передача их из поколения в поколение оказалось недостаточным. Для формирования надежных знаний о природе Земли понадобились долговременные ряды разносторонних наблюдений во множестве пунктов на больших пространствах, а также средств и способов соединения получаемых данных в единую картину во времени и пространстве.

Между тем непосредственные натурные наблюдения, как метод получения первичной информации, сохранились до сих пор. Они организуются в двух вариантах: стационарном и экспедиционном. Примером тому служат гидрометеорологические посты «СП» на льдах Арктики, почти ежегодные экспедиции в Антарктиду и др. По мере развития наук о Земле и изучении процессов, происходящих в природе, растет потребность в достоверной информации, необходимой для создания надежных прогнозов. Поэтому *способы непосредственных наблюдений* дополнили, а в ряде случаев заменили, вытеснили *методы опосредованного сбора данных*. В контакте с природой людей заменили технические устройства, снабженные датчиками, рецепторами, функционирующими в автоматическом и полув автоматическом режиме. Однако оставалась еще трудная работа по организации и проведению зондирования атмосферы, морей и океанов, недр Земли, установки и поддержанию в рабочем состоянии метеостанций в труднодоступных районах.

Ситуация существенно изменилась, когда стали интенсивно развиваться *дистанционные (бесконтактные) методы* исследования Земли. Они возникли в двух разновидностях. Сначала — наземные и воздушные фотографические и телевизионные, так называемые пассивные съемки, использующие солнечное освещение местности. Затем дистанционное зондирование как активный вариант съемки, требующий

искусственного облучения объекта, как, например, это делается при радиолокационной съемке.

Результат съемки может быть получен в различном виде, но в большинстве случаев предпочтение отдается снимкам. Они позволяют значительно сократить затраты времени, средств, заменив натуру аэрокосмическими изображениями, и, таким образом «доставив местность на дом».

Достоинство дистанционных методов состоит, во-первых, в том, что наблюдатель не вмешивается в ход событий, не нарушает естественно протекающие в природе процессы. Во-вторых, появляется возможность использовать большие «окна наблюдений», перекрывая съемкой почти весь электромагнитный спектр. В-третьих, становятся доступными для изучения самые удаленные территории, увеличивается скорость, оперативность получения и обработки информации. Только засняв Землю из космоса, убедились воочию в ее шарообразности.

Уже на заре аэросъемки многие исследователи неоднократно указывали на то, что аэрометоды должны сыграть в изучении Земли большую роль. Академик А. Е. Ферсман, например, писал, что аэросъемка — не только новое орудие для работы в труднодоступных областях земной поверхности, но и новый метод для понимания ряда проблем в различных областях географии. Он считал, что ни один географ, изучающий какую-либо территорию, не может считать свою работу выполненной, если не проверит свои выводы путем визуальных наблюдений с самолета. Еще определеннее высказался французский географ Э. Мартонн. Имея в виду аэровизуальные наблюдения, он писал, что «никогда не летавшему географу можно прямо сказать — он неполноценный географ». А. Е. Ферсман также обратил внимание на большую пользу от применения аэросъемки при хозяйственном освоении новых районов нашей страны. Для обширных сухопутных и морских пространств нашего государства аэрофотосъемка является наиболее производительным, а в некоторых географических условиях единственно возможным способом исследований.

Долгое время единственным способом получить представление о местности в целом было медленное накопление сведений, например путем топографической и специальной съемки. Как показывает сравнение аэроснимков и карт, многое оставалось при этом незамеченным. При аэрофотосъемке, тем более при космической съемке, местность с множеством подробностей фиксируется на снимках значительно быстрее, удобнее и с меньшими затратами, чем при наземных съемках.

Удобство работы со снимками заключается также в том, что к изображению местности можно обращаться неоднократно и изучать длительное время, что затруднительно или невозможно при других методах.

Главное же заключается в том, что воздушные и космические снимки дают в руки исследователя новые сведения, факты, которые другими способами не могут быть установлены. Аэрокосмические снимки позволяют исследователям наглядно представить во всей совокупности объектов и явлений облик местности с любой степенью обобщения на большом пространстве. Имея их, намного проще соблюсти комплексность, увязать между собой результаты различных исследований, обеспечив тем самым всесторонность, системность изучения объектов.

Поэтому, по мере того как возрастает интерес к проблемам охраны природы и природопользования, организации экологического мониторинга, основным источником информации о состоянии географической оболочки во все большей степени становится дистанционное зондирование Земли.

0.3. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

История аэрокосмической съемки начинается с середины XIX века, когда изобретенная в то время фотография встретила с набравшим силу и популярность воздухоплаванием.

В 1839 г. научная общественность была извещена об изобретении метода получения изображения предметов на светочувствительных слоях, позже названного фотографией. Парижской Академией наук был обнародован способ создания светового изображения на посеребренной медной пластинке. Метод был детищем двух французских изобретателей: физика и изобретателя Жозефа Нисефора Ньепса и художника и декоратора Луи Жака Манде Дагера. Способ получил название «дагеротипия».

Почти одновременно с этим известный английский ученый, математик и физик Вильям Генри Форс Талбот сделал доклад в Королевском обществе о своем изобретении способа светописа на бумаге, покрытой слоем светочувствительного раствора. Технология, предложенная им, была ближе к современной: она предполагала получение негатива и затем воспроизведение с него позитивов в любом количестве. Метод дагеротипии давал единственное и к тому же зеркальное изображе-

ние. Тем не менее именно дагеротипия стала прототипом современной фотографии.

Открытие светописы вызвало оживленный интерес в различных кругах, особенно среди ученых. Первыми высоко оценили возможности фотографии и приняли активное участие в ее пропаганде и развитии астрономы. 7 января 1839 г. известный французский ученый, астроном и политический деятель Доменик Франсуа Араго сделал первое публичное сообщение об изобретении Ж. Н. Ньепса и Л. Ж. М. Дагера на собрании Парижской Академии наук. 19 августа 1839 г. полное описание способа Дагера было опубликовано. Ныне эта дата считается днем рождения фотографии.

Д. Ф. Араго принял деятельное участие в популяризации нового способа светописы, увидев в нем превосходный инструмент эффективного исследования природы. Он ясно представлял себе главные преимущества фотографии и предсказал ей большое будущее. В частности, он выразил надежду, что путем фотографирования астрономы смогут готовить карты нашего спутника — Луны, выполняя эту кропотливую работу очень быстро.

Другой энтузиаст светописы, астроном Джон Гершель, внес в процесс фотографирования некоторые новшества и признал это изобретение «чудом». Именно ему мы обязаны названием нового метода — «фотография». Он же ввел в обиход хорошо известные термины: «негатив» и «позитив».

Астрономы сразу же принялись использовать фотографию в своих целях. Д. Дрейер в США в 1840 г. и Э. Кнорр в России в 1844 г. получили первые дагеротипы Луны и лунного затмения. В то же время И. Физо и Л. Фуко получили первые фотографии Солнца. В 1850 г. удалось сделать фотографии звездного неба. Так возникла и стала чрезвычайно быстро и успешно развиваться астрономическая, сначала телескопическая, а затем космическая фотография, а вместе с ней картографирование звездного неба и планет.

Новое изобретение по достоинству было оценено в России в конце XIX в. Д. И. Менделеев считал фотографию «вторыми глазами ученых». Большое будущее видел в фотографии К. А. Тимирязев, выступивший с публичной лекцией «Фотография и чувство природы», где назвал фотографию «даром науки». Фотография привлекла внимание также натуралистов, этнографов, географов. Участники экспедиций в Центральную Азию Н. М. Пржевальский, В. И. Роборовский, П. К. Козлов и другие привозили из путешествий множество превосходных фотографий, созданных истинными ма-

рались в Публичной библиотеке и Географическом обществе в Петербурге.

Воздухоплавание возникло значительно раньше фотографии. 5 июня 1783 г. во французском городке Видалон-лез-Аннне братья Жозеф и Этьен Монгольфье впервые запустили воздушный шар, наполненный горячим воздухом. 19 сентября 1783 г. в Версале (под Парижем) в присутствии короля Людовика XVI во дворе его замка в час дня взмыл в воздух шар, унося в своей корзине первых воздушных путешественников, которыми были баран, петух и утка. Однако этот полет не обошелся без неприятности: при посадке петух повредил крыло, видимо, его придавил баран, но это происшествие стало поводом к дискуссиям об опасности полета человека. Однако в конце года на монгольфьере впервые поднялись люди, французы П. де Розье и д'Арланд. В том же году в Париже профессор Ж. Шарль и механики братья М-Н., А. Ж. и Н. Л. Робер запустили шар, заполненный водородом.

С изобретением фотографии важность ее для создания карт была отмечена учеными сразу. Потребовалось около 20 лет, чтобы фотография и воздухоплавание составили новое эффективное средство изучения земной поверхности. Первым шагом дистанционных методов исследования и картографирования была наземная фотосъемка. Ее начало связывают с именем французского военного инженера Э. Лосседа. В 1860 г. он первый стал пользоваться перспективными съемками, развертывая их в план по законам центральной проекции. Решение задачи построения планов с помощью фотоизображений, подготовленное еще в трудах И. Г. Ламберта, затем было развито другими учеными, в том числе русским инженером Р. Ю. Тиле, внесшим заметный вклад в создание основ новой науки — *фотограмметрии*.

Первые опыты аэрофотографирования были проделаны в середине XIX века. Начало положил французский фотограф, журналист, энтузиаст воздухоплавания Ф. Турнашон, известный более под именем Надар, который сфотографировал окрестности Парижа и сам город с гондолы привязного аэростата. Почти одновременно с ним с баллонов были сделаны снимки в г. Бостоне (США) профессором С. А. Кингом и Дж. У. Блэком. Мечта фантастов о том, чтобы подняться в небо, увидеть всю Землю и с легкостью произвести топографическую съемку, наконец осуществилась.

Однако на первых порах фотографирование с воздушных шаров более успешно использовалось как способ военной разведки. Напри-

та применялась во время гражданской войны в Америке. В 1859 году фотограф Надар произвел съемку позиций противника с привязного аэростата во время австро-итальянской войны.

Первые фотографии с воздушного шара в России были получены 18 мая 1886 года начальником русской военно-воздухоплавательной команды А. М. Кованько. Он сфотографировал устье Невы и Петербург. Во втором полете в июле 1886 г. фотографирование Петербурга и Кронштадта было произведено специальной фотокамерой, сконструированной В. И. Срезневским.

Дальнейшему развитию воздушной фотосъемки в значительной степени способствовали успехи в создании теории фотограмметрии и конструировании фотоизмерительных приборов.

В 1872 г. английским физиком и изобретателем Чарльзом Уитстоном был изобретен зеркальный стереоскоп. В начале 1900-х годов К. Пульфрих построил стереокомпаратор. Появилась возможность высокоточных измерений по снимкам, используя изображение. Аэрофототопография сделала большой шаг вперед. В Германии в 1881 г. был основан фототопографический институт под руководством А. Мейденбауэра, предложившего в свое время термин «фотограмметрия».

В последние годы XIX столетия материалы съемок стали активно использоваться в лесном деле, геологии и геоморфологии, гидрологии и др. Большую роль при этом сыграло Русское техническое общество, в котором были организованы два отдела: фотографический и воздухоплавания (1878–1880 гг.). Участие в развитии аэрокосмических методов исследования Земли принимало и Русское географическое общество.

В самом начале XX века свои первые полеты совершили летательные аппараты тяжелее воздуха. Американцы братья Вильбур и Орвилл Райт в декабре 1903 г. создали и подняли в воздух первый аэроплан. В 1908 г. француз Сантос-Дюмон совершил полет на самолете своей конструкции. Наступила эра съемок с самолетов и других аппаратов тяжелее воздуха. Однако и воздухоплавание еще долго оставалось в сфере интересов и науки, и практики. В начале XX века активно развивалось дирижаблестроение. Дирижабли сыграли большую роль в освоении Арктики и использовались для фотосъемки лесов. Особый интерес вызывали попытки проникнуть в верхние слои атмосферы, стратосферу с помощью воздушных шаров-стратостатов. Ожидалось, что с помощью фотографических камер, установленных в кабинах, могут быть получены мелкомасштабные снимки Земли. К сожалению, первый полет 31 января 1934 г. стратостата «Осоавиахим-1»

с экипажем стратонавтов на борту — П. А. Федосеенко, А. В. Васенко и И. Д. Усыкиным — окончился катастрофой. В 1935 г. фотосъемки были произведены со стратостата «СССР-1-бис» и американского стратостата «Эксплорер-2». Много позже, в 70-х годах прошлого века французский национальный центр космических исследований еще производил съемки со стратостатов.

Довольно скоро после появления самолетов они стали использоваться для визуальных наблюдений и аэрофотосъемок. Были созданы новые аэрофотоаппараты, позволившие получать снимки, по которым можно составлять карты.

В нашей стране начало планомерного, систематического использования авиации в географических исследованиях было положено в середине двадцатых годов. В марте 1919 г. было учреждено Высшее геодезическое управление, затем преобразованное в Главное управление геодезии и картографии — ГУГК (ныне — «Роскартография»). На государственную геодезическую и картографическую службу было возложено изучение территории страны в топографическом отношении в целях поднятия и развития производительных сил страны. В 1924 году были созданы первые аэрофотосъемочные производственные организации и проведены аэрофотосъемки для нужд лесоустройства, землеустройства, дорожного строительства и др.

В годы, предшествовавшие Великой Отечественной войне, была произведена аэрофотосъемка громадных пространств нашей страны. Тогда же были разработаны теоретические основы *аэрофототопографии*, созданы необходимые инструменты и приборы для обработки снимков, налажено аэрофототопографическое производство. Совершенствовалось техническое оснащение аэрофотосъемки: самолеты, фотографическая аппаратура, фотоматериалы, фотограмметрические приборы; разрабатывалась технология аэрокартографирования.

В тридцатые годы аэрометоды стали широко использоваться в целях изучения, таксации и эксплуатации лесов, и также при обследовании Арктики. Одновременно был приобретен первый опыт использования аэрофотоснимков при изучении пустынь, рек, озер, болот, рельефа и др. Становилась очевидной большая научная и практическая эффективность аэрофотосъемки.

В 1929 г. в Ленинграде был организован Научно-исследовательский институт аэросъемки, директором которого стал А. Е. Ферсман. Позже в Москве был создан Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэросъемки и картографии. Для проведения аэрофотосъемочных работ в 1923 г. было создано общество «Добролет»,

на основе которого затем возникла единая государственная организация. В 1935 г. при Географическом обществе была организована Комиссия аэрофотосъемки, ныне — Комиссия аэрокосмических методов, которую в течение многих лет возглавлял один из крупнейших отечественных специалистов в области аэрокосмических методов Г. Б. Гоним.

В 1939 г. при Отделении геолого-географических наук АН СССР была создана Комиссия по применению аэрокосмических методов. В 1944 г. комиссия была преобразована в Лабораторию аэрометодов АН (ЛИАЭМ), которую возглавил Н. Г. Келль. Ныне — это ГУП Научно-исследовательский институт космоаэрометодов (ГУП НИИКАМ).

Для обширных сухопутных и морских пространств нашего государства аэрофотосъемка стала наиболее производительным, а в некоторых географических условиях — единственным способом получить представление о значительном районе в целом. Благодаря аэрометодам были за короткое время обследованы восточные районы страны, изучение которых обычными экспедиционными методами потребовало бы десятилетий. При этом были обнаружены новые ледники и целые горные хребты.

В послевоенные годы восстановление и развитие народного хозяйства потребовало интенсивного изучения природных ресурсов страны. Аэросъемка позволила в удивительно короткие сроки решить проблему картографирования. Сейчас вся территория страны покрыта картами, созданными по материалам аэрофотосъемок.

В первое десятилетие после окончания Великой Отечественной войны аэрометоды стали широко распространяться, и к концу пятидесятых годов почти не осталось наук о Земле, где они не нашли бы применения, прочно утвердившись в геологических, геоморфологических, почвенных, геоботанических, гидрологических, океанологических и других исследованиях. Материалы аэрофотосъемок стали использоваться в изысканиях и проектировании путей сообщения, планировании и строительстве городов, портов, линий электропередач, трубопроводов и пр.

Совершенствовались методика и технология картографирования по аэроснимкам, что позволяло составлять топографические карты все более крупных масштабов. Целиком на материалах аэросъемки стали проводить геологическое и отчасти почвенное, геоботаническое и сельскохозяйственное картографирование. Вместе с тем расширился ассортимент фотографических материалов. В начале 50-х годов в СССР была проведена первая цветная аэрофотосъемка, а в 60-е годы в нашей

стране стали использоваться цветные спектрзональные фотопленки с нарушенной передачей цветов. Тогда же были сконструированы новые высокоточные стереофотограмметрические приборы для составления карт по снимкам, стала внедряться вычислительная техника. Появились новые виды съемок: тепловая и радиолокационная (радарная) — так аэрометоды вышли за пределы видимой части спектра. Технология обработки снимков обогатилась новыми приемами преобразования и фильтрации фотоизображений. В те же годы создаются методологические основы дешифрирования снимков как метода географического исследования ландшафтной оболочки Земли. Ландшафтный подход становится основным при дешифрировании снимков. Возникает задача объективизации и автоматизации процесса дешифрирования, которая и сейчас остается важнейшей проблемой аэрокосмических методов.

Дальнейшим развитием стала космическая съемка Земли, а также других планет и их спутников. Однако съемки сначала делались с ракет, выполнявших полет по баллистической кривой. Первые попытки относятся к концу XIX века (Германия), но действительный интерес к такого рода съемкам возник лишь после Великой Отечественной войны. Ракеты, снабженные фотографическими камерами, стали запускать у нас в стране, а также в США, Англии, Австралии, Аргентине на высоты 200–270 км. Однако такие съемки прекратились с началом массового запуска искусственных спутников Земли и межпланетных аппаратов. Среди пользователей материалами аэрокосмической съемки значительное место стали занимать экологи-картографы.

Первый в мире ИСЗ был запущен в СССР 4 октября 1957 г. 7 октября 1959 г. советская межпланетная станция «Луна-3» сфотографировала обратную сторону Луны. Так было положено начало внеземной космической съемке. 12 апреля 1961 г. гражданин СССР Ю. А. Гагарин совершил первый полет человека в космическое пространство. Первое фотографирование Земли из космоса провел 6 августа 1961 г. советский космонавт Г. С. Титов. С 1975 г. в СССР ежегодно производилось более 100 запусков космических аппаратов.

Космическая съемка осуществлялась в двух вариантах: во-первых, автоматически действующими системами, например метеорологическими ИСЗ, и, во-вторых, с пилотируемых космических станций. Оба варианта имеют как положительные стороны, так и недостатки, и дополняют друг друга. Продолжительность полетов все время возрастала, и наконец стало осуществляться постоянное дежурство на орби-

те автоматических ИСЗ и космических станций, например российской станции «Мир» и международной космической станции — МКС.

Первые снимки с ИСЗ были получены с помощью кинокамер и малоформатных портативных камер. Качество таких фотографий было не слишком высоким. С конца 60-х годов на пилотируемых космических кораблях уже устанавливалась специализированная фотографическая аппаратура, сначала это были аэрофотоаппараты, затем камеры, специально созданные для космической съемки. Первые съемочные системы работали только в видимой части спектра, затем была освоена инфракрасная часть и еще позже — радиоволновая зона спектра. Помимо кадровых аппаратов использовались сканерные системы. Одиночные камеры сменили многокамерные фотосъемочные агрегаты типа МКФ-6МУ (Россия) и «Тематический картограф» (США), снимающие одновременно в шести зонах спектра.

В 70-х годах появились специализированные ИСЗ для исследования природных ресурсов Земли (ИПРЗ) с аппаратурой для так называемой цифровой съемки (например, французский ИСЗ СПОТ и др.), что открыло путь к массовому использованию потребителями всего множества снимков, поступающих с автоматизированных ИСЗ.

0.4. АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КАК УЧЕБНАЯ ДИСЦИПЛИНА

По мере того как множилась и усложнялась информация, получаемая дистанционным зондированием, возрастала потребность в специалистах, подготовленных в области обработки и интерпретации материалов съемки — снимков. Однако понадобилось почти сто лет, прежде чем обучение аэрометодам представителей наук о Земле стало всеобщим и обязательным.

Аэрометоды географических исследований как учебная дисциплина были введены в учебные планы географических факультетов университетов в 50-х годах прошлого столетия. Тогда же была разработана программа, которая затем неоднократно пересматривалась и совершенствовалась по мере развития технических средств съемки и обработки снимков. Курс завоевал среди географов популярность, тем более что организации, принимающие выпускников, заинтересованы в такой подготовке.

Переход к космическим съемкам и признание изучения Земли из Космоса одной из важнейших частей программы космических исследований укрепило положение курса и усиливало его актуальность.

В те же годы организовывались учебно-научные лаборатории аэрометодов. Лаборатория аэрометодов при кафедре картографии географического факультета МГУ, созданная по инициативе и поддержке проф. А. К. Салищева и под руководством проф. Ю. Ф. Книжникова, многие годы успешно выполняла функции межуниверситетского учебно-методического центра, чем способствовала развитию и распространению дистанционных методов в географических исследованиях.

На основании приобретенного опыта пришли к выводу, что аэрокосмические методы как учебная дисциплина должны делиться на две части: *общую*, включающую учение о методе, чаще и удачнее всего излагаемое в форме учебного пособия, содержащего сведения, в равной степени необходимые при любом применении метода для решения задач в разных областях положения, и *специальную*, отображающую широкую область приложений метода, в частности, в различных географических исследованиях.

Отсюда естественно вытекает двухэтапное обучение специалистов, сначала общая часть для всех, затем особые курсы или разделы для каждой специальности и специализации отдельно. Как правило, общую часть предваряет небольшой практикум полевого топографического дешифрирования снимков на материалах учебной базы университета.

Предложенная система обучения была принята в Санкт-Петербургском (Ленинградском) государственном университете и в основном сохранена до настоящего времени. Целесообразность ее подтвердилась практикой. Такую же структуру учебных планов применяют в других странах, например в США, где концептуальная модель обучения дистанционным методам включает междисциплинарный курс лекций для всех специальностей на первом уровне обучения и специальные курсы для будущих специалистов на завершающем.

Общая часть учебного курса содержит три главных раздела:

- 1) съемка, летательные аппараты, съемочная аппаратура;
- 2) анализ геометрических, изобразительных и информационных свойств аэрокосмических снимков;
- 3) технология и организация дешифрирования снимков.

Содержание этих трех разделов в учебных планах и программах уравновешено между собой таким образом, чтобы происхождение материалов, используемых при дешифрировании, было объяснено в разделе «съемка», при этом сведения из области съемки не были избыточными. В действительности это равновесие нередко нарушается, что проявляется в разделении конструкторских и исследовательских сто-

рон метода, в диспропорции между съемкой и дешифрированием в учебных программах, в структуре курсов. Специальная часть курса посвящена использованию материалов съемок при решении различных задач и чаще всего завершается картографированием. Здесь легко сбиться на простое перечисление возможных случаев применения материалов съемки, имевших место ранее и служащих примером удачного решения задач путем интерпретации содержания аэрофотоизображений. Именно так получается, когда общая и специальные части курса объединены в одно целое.

Каждый курс воплощает в себе некоторую концепцию, которая определяет его общую направленность и конкретное содержание. Построение учебных программ отражает определенные взгляды на предмет, которые подвержены систематическим изменениям. Так со временем стало наблюдаться некоторое принижение метода, деформация отлаженной, установившейся системы обучения вплоть до изменения всего курса. Обозначилось прямое стремление отказаться от самостоятельного курса, называемого «Аэрокосмические методы географических исследований». Курс сначала именовался «Аэрокосмические и географические методы исследований», затем просто «Географические методы исследований».

В качестве аргументов в пользу свертывания курса следовали ссылки на его чрезмерную «техничность», а также на то обстоятельство, что многие университеты выпускают учителей географии. Эти доводы не выдерживают критики, поскольку, как подтверждается практикой, усложнение технических средств получения и обработки первичной информации неизбежно и плодотворно.

С другой стороны, замечание о техничности курса содержит долю истины. Академик А. Л. Яншин справедливо указывал на нарушение комплексности космических исследований из-за того, что регистрирующие устройства для дистанционных съемок проектируются сами по себе, а системы обработки материалов съемок часто берутся вообще из других областей, тогда как разработка средств съемки, обработки снимков и технологии дешифрирования должны проводиться на основе единых принципов, лежащих в основе метода.

Изобразительные свойства снимков изучаются двумя самостоятельными научными дисциплинами: фотограмметрией и фотометрией. Их положение в курсе методов заслуживает особого внимания по двум причинам. С одной стороны, именно морфометрической и фотометрический анализ изображения дают количественные характеристики (признаки) изображенных предметов, что позволяет привлекать объ-

ективные способы анализа снимков с использованием компьютеров. С другой — через фотограмметрию аэрокосмические снимки связаны с геодезией, картографией, топографией и поэтому при обучении специалистов в области географической картографии курс «Фотограмметрия» разрабатывается независимо, на него отводится значительная часть учебного времени.

В курсе «Аэрокосмические методы исследований», рассчитанном на подготовку географов всех специальностей и специализаций, фотограмметрия занимает место в общей части и входит в раздел «анализ снимков». Практика показывает, что обучающихся следует не только знакомить с геометрическими свойствами снимков, но также учить способам измерений на снимках. Однако у некоторых авторов программ и учебных пособий хорошо заметен «крен» в сторону фотограмметрии, особенно у представителей технического направления в дистанционных методах. Географам, а также представителям других наук о Земле присуща иная крайность. Они нередко стремятся к упрощению и всю суть аэрокосмических методов сводят к использованию снимков скорее в иллюстративных, чем в исследовательских целях.

Исторически сложилось так, что приобщение к аэрометодам начинается с привития навыков дешифрирования аэрофотоснимков. В настоящее время дешифрирование снимков составляет ядро, центральную часть аэрокосмических методов. В учебных планах подготовки географов-картографов ранее выделялся самостоятельный курс «Дешифрирование аэрокосмических снимков». Однако сведение всего обучения курса к обучению топографическому дешифрированию теперь рассматривается как недостаточный уровень подготовки.

С известным приближением к идеалу подготовка профессионалов, владеющих приемами обработки снимков, реализуется на географических, а также геологических факультетах СПбГУ, МГУ и других университетов России.

Однако хорошо отлаженная за многие годы схема обучения существенно отличается от принятой в других европейских университетах. Специалистами отмечается возможность и необходимость совершенствования всей системы подготовки профессионалов путем введения международных стандартов в образовании по отдельным крупным разделам дистанционных методов исследований, например фотограмметрии, фототопографии и др. В зависимости от степени обученности следует классифицировать специалистов:

1) научные работники со степенями («эксперты»), способные развивать метод и решать нетривиальные задачи;

2) дипломированные специалисты («инженеры»), обладающие навыками и умением обработки материалов съемок при решении задач той науки, которую они представляют;

3) лаборанты («техники»), владеющими практическими приемами дешифрирования снимков.

На самом деле в мировой практике массовая подготовка специалистов осуществляется разными учебными заведениями и организуется по различным программам. Курсы имеют неодинаковые целевые установки и основаны на различных концептуальных моделях. По данным, опубликованным в США, среди множества читаемых курсов одна треть приходится на «Дистанционные методы», другую треть составляет «Аэрофотонтерпретация» и еще треть включает различные частные курсы, например, «Фотогеологию» и др.

В ближайшие годы предстоит, и уже началась, серьезная перестройка всей отечественной системы высшего образования. Российские университеты готовы войти в так называемый Болонский процесс и создать таким образом единое европейское образовательное пространство.

Согласно европейским установкам, предполагается перейти на двухцикловое образование: сначала бакалавриат (не менее трех лет), затем магистратура и/или докторантура. Примеряясь к этой схеме, мы можем использовать уже отработанный порядок: сначала «общая» часть, знакомящая слушателей с основами дистанционных, аэрокосмических методов землеописания, затем вторая, «специальная».

Перестройка и осовременивание программ курсов «Аэрокосмические методы» требует внимательного отношения к делу, чтобы избежать потерь в накопленном педагогическом опыте, сохранить сложившиеся традиции в подготовке специалистов. Не должно возникнуть желания сократить и упростить курс «Аэрокосмические методы географических исследований». Должны произойти изменения в содержании учебных планов и программ, определяющих подготовку географов в области современных методов уже не только в интересах наук о Земле, но и освоения территорий других планет и их спутников.

Конечно, существующий в Российской Федерации порядок получения образования, включающий этапы аспирантуры и докторантуры, получается достаточно громоздким, и, что особенно беспокоит Министерство образования, дорогостоящим. Более того, возникло представление об избыточности отечественного образования.

Согласно предлагаемой схеме бакалавриат предполагает акцент на общую подготовку. Специализация, в том числе в области аэрокос-

мических съемок, относится к годам магистратуры. Некоторая опасность здесь видится в том, что может возникнуть разрыв в образовании. Магистры уйдут вперед, стремясь сохранить уровень своей подготовки адекватным быстро меняющейся современности, а бакалавры останутся на уровне общих понятий. Во всяком случае, уже обсуждается необходимость введения системы повышения квалификации, так сказать, обучение «вдогонку», позволяющее и бакалаврам и магистрам длительное время оставаться на уровне современных теоретических знаний как в избранной области науки, так и в методах исследования.

Глава 1

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ СЪЕМКИ

1.1. ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Все объекты съемки имеют различную яркость, которая характеризуется световым потоком, излучаемым или отражаемым объектом. Естественным источником освещения служит Солнце. Используются и другие, искусственные источники излучения, например, радиолокаторы, лазеры и др.

Солнечный свет, проходя сквозь атмосферу, частично рассеивается молекулами газов атмосферы, а также находящимися в воздухе пылью и водяным паром. Это рассеяние вызывает свечение атмосферы, создавая тем самым рассеянный свет неба.

Суммарное освещение земной поверхности E_{Σ} складывается из прямой освещенности E_s , рассеянной освещенности E_H и освещенности, создаваемой рефlekсами E_r :

$$E_{\Sigma} = E_s + E_H + E_r.$$

Освещенность, создаваемая рефlekсами, имеет значение при съемке гор с крутыми склонами, от которых отражается свет, усиливающий освещенность противоположных склонов. Несколько большее значение имеют рефlekсы при цветной съемке, так как они искажают цветопередачу. В зависимости от высоты Солнца над горизонтом и характера подстилающей поверхности меняется соотношение прямой и рассеянной радиации. Доля рассеянной радиации возрастает при низком стоянии Солнца над горизонтом, при облачности и снежном покрове. Так, например, при высоте Солнца 30° доля рассеянной радиации

от суммарной для заснеженной территории составляет 41%, а для открытой от снега местности 30%. С увеличением высоты Солнца доля рассеянного света уменьшается и возрастает чернота теней. В связи с этим усиливаются контрасты освещенности и, следовательно, яркости (рис. 1.1).

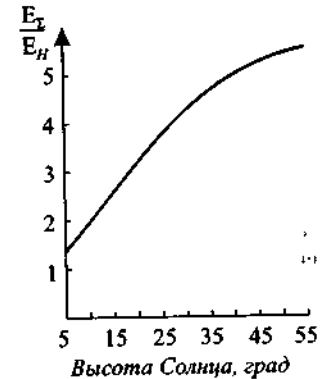


Рис. 1.1. Соотношение общей E_{Σ} и рассеянной E_H освещенности при различной высоте Солнца

Освещенность прямым светом различно ориентированных склонов отличается по интенсивности. В целом освещенность горной местности зависит от сочетания углов наклона и ориентировки склонов, времени суток, месяца и широты места. Осенью при малых высотах Солнца в средних широтах склоны гор и холмов освещены сильнее, чем горизонтальные поверхности. Летом, наоборот, больше освещены горизонтальные поверхности. Различная освещенность склонов приводит к разному их прогреву, что обнаруживается при инфракрасной съемке, регистрирующей тепловое излучение объектов.

Различная теплоемкость объектов съемки определяет скорость и интенсивность их нагрева солнечными лучами в дневные часы и остывания ночью, что и создает инфракрасное изображение. Рассеянное освещение заметно больше на южных склонах, особенно при малых высотах Солнца. Склоны северной и южной ориентации всегда освещены по-разному. Однако эта разница менее заметна в утренние и вечерние часы и резко к полудню (рис. 1.2). Поэтому хребты, вытянутые в широтном направлении, следует снимать в северных и средних широтах в утренние или вечерние часы, а на юге — около полудня.

Оптимальной высотой Солнца, при которой достаточно выразительно передается рельеф и не обедняется тональность изображения, считается высота $20-30^\circ$, и не более 80° , так как при положении свети-

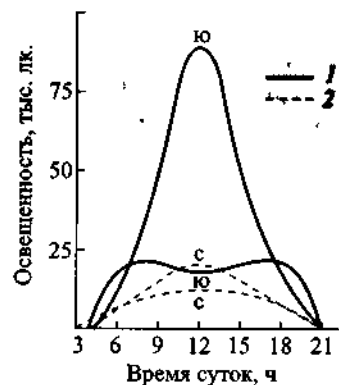


Рис 12 Суточный ход освещенности прямыми солнечными лучами (1) и рассеянным светом (2) поверхностей, наклоненных к горизонту на север (С) и юг (Ю) под углом 48° (на 22 июля, $\varphi = 56^\circ$) (по М. С. Аверкиеву)

ла, близком к зениту, почти исчезают тени и усиливается контраст фотоизображения. Поэтому для более полного выявления деталей рельефа рекомендуется производить съемку равнинных районов дважды, при высоте Солнца меньше 10° и больше 10° . При космической съемке при большом охвате территории и ближе к терминатору обнаруживается неравномерность освещения поверхности Земли из-за ее кривизны.

Отражательная способность объектов характеризуется двумя величинами: альбедо и коэффициентом яркости. Альбедо A есть величина, равная отношению потока радиации F , отраженного поверхностью объекта по всем направлениям, к падающему на эту поверхность потоку F_0 :

$$A = \frac{F}{F_0}.$$

Под коэффициентом яркости r понимается отношение яркости данной отражающей поверхности B к яркости одинаково с ней освещенной идеально матовой поверхности B_0 , отражающей весь падающий на нее свет или всю облучающую ее радиацию:

$$r = \frac{B}{B_0}.$$

При освещении или облучении объектов съемки искусственным источником света, например лампой-вспышкой при ночной съемке, радаром, лазером или др., отражательная способность объектов также будет различным образом проявляться и может быть охарактеризована теми же критериями. При отсутствии внешнего источника освеще-

ния или облучения имеет место лишь собственное излучение поверхности за счет предварительного нагрева Солнцем или внутреннего нагрева Земли. Поток излучения E связан с температурой поверхности излучающего объекта T^n следующей зависимостью (закон Стефана-Больцмана).

$$E = \sigma T^n.$$

Константа σ характеризует излучательную способность объекта. В инфракрасной зоне спектра поток излучения и, следовательно, яркость объекта в значительной мере зависят от температуры тела, в радиотепловом диапазоне поток излучения зависит преимущественно от излучательной способности объекта. Для теплового излучения $n = 4$, для радиотеплового $n = 1$.

Коэффициенты яркости различных природных образований в дневном свете определялись неоднократно. Было установлено, что они колеблются в широких пределах: от 1,0 для свежеснеговывающего снега до 0,02–0,03 для влажного вспаханного чернозема (табл. 1.1.). Однако суммарный коэффициент яркости полностью характеризует лишь небольшое число оптически нейтральных объектов: белых, серых, черных. Большинство же предметов имеет окраску, так как по-разному отражает лучи в узких зонах спектра.

Таблица 1.1 Коэффициенты яркости (r) некоторых природных объектов (в видимой зоне спектра)

Название объектов	Коэффициенты яркости r
Снег свежеснеговывающий	1 00
Дорога грунтовая сухая	0 20
Песок желтый	0 15
Дорога грунтовая мокрая	0 07
Луг зеленый	0 06
Лес лиственный летом	0 05
Болото	0 05
Лес хвойный летом	0 04
Чернозем свежеспаханный	0 02

Для характеристики отражательной способности объектов в ограниченных интервалах длин волн используется спектральное альбедо A_λ или спектральный коэффициент яркости r_λ . Определение спектральных отражательных свойств объектов составляет задачу спектрометрической съемки. Коэффициенты спектральной яркости по всему диапазону видимой части спектра и в ближайшей инфракрасной

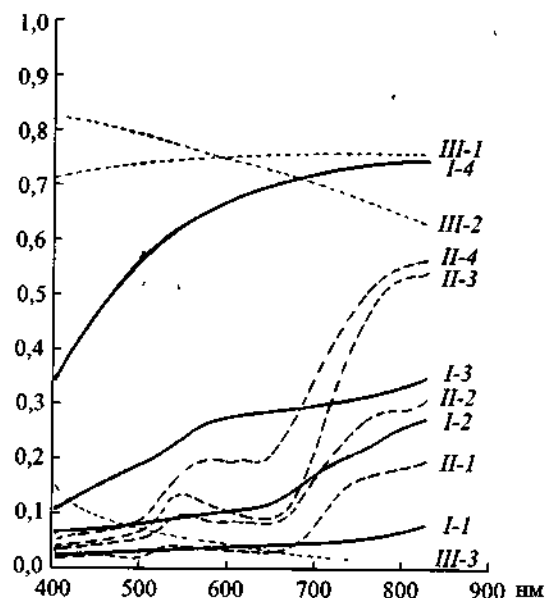


Рис 1.3 Кривые спектральной яркости различных природных явлений (по Е. Л. Кринову). Класс I 1 — черноземы, супесчаные почвы, грунтовые дороги, 2 — оподзоленные суглинистые почвы, 3 — пески, горные породы, 4 — известняк, глины. Класс II 1 — хвойные леса, 2 — суходольные луга, 3 — лиственные леса, густые заливные луга, 4 — созревшие полевые культуры, осенние леса. Класс III 1, 2 — снег, 3 — вода вне зоны блика

части многократно определялись наземным спектрометрированием, с самолетов, а теперь и с космических аппаратов.

Первая полная сводка кривых спектральных коэффициентов яркости была составлена Е. Л. Криновым (рис. 1.3). Он выделил три класса природных образований, отличающихся характером спектральной яркости.

Класс I. Обнажения и почвы. Для объектов этого класса характерна спектральная кривая, равномерно поднимающаяся в направлении красной зоны спектра.

Класс II. Растительный покров. Для объектов этого класса характерны небольшой максимум в зеленой области спектра, минимум в желтой части и значительный подъем кривой в красной части спектра. При этом кривая r_d зависит от вида растительности и, особенно, от сезона съемки.

Класс III. Водные поверхности, снежные и облачные покровы. Для этого класса объектов характерно понижение кривой от синей части спектра к красной.

Спектральные характеристики природных объектов непостоянны; они зависят как от условий освещения, так и состояния самих объектов: увлажненности почв, грунтов и растительного покрова, фенологической фазы растительности, а также структуры поверхности. От строения поверхности, или фактуры, зависит пространственное распределение отраженного излучения. Можно выделить четыре группы поверхностей, различающихся отражательными свойствами в различных направлениях (рис. 1.4).

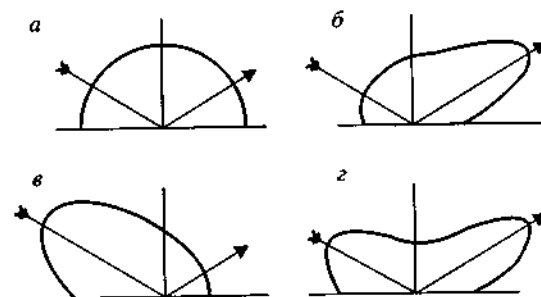


Рис 1.4 Индикатриссы рассеяния различно отражающих поверхностей: а — ортотропные, б — зеркалящие, в — исеченные, г — комбинированные

1. **Ортотропные поверхности (а)**, которые отражают падающий на них поток излучения диффузно, т. е. равномерно во всех направлениях. Так отражают видимый свет сыпучие пески, рыхлый снег. При радиолокационной съемке радионизлучение диффузно отражается каменными россыпями, состоящими из крупных валунов.

2. **Зеркалящие поверхности (б)**, отражающие излучение главным образом в плоскости падения лучей и под углом падения. Зеркально отражают видимый свет чистый лед, сухие каменистые поверхности, открытые скальные грунты. Радионизлучение зеркально отражается глинистыми грунтами, галечниками. Свойство зеркально отражать световой поток наиболее сильно выражено у открытой водной поверхности.

Эффект зеркального отражения света и, следовательно, игра тонов изображения могут быть использованы как прямой признак, отличающий одни объекты от других, например, открытую воду от песков и

др. Для этого было предложено производить так называемую «индикатрисную» съемку, при которой съемочные маршруты выбираются навстречу направлению солнечных лучей. Таким образом, в зоне перекрытия снимков один и тот же участок местности будет изображен с отблеском и без него.

3. *Изрытые (иссеченные) поверхности* (в), которые максимально отражают в направлении к источнику излучения. Таким свойством обладают растительный покров, пахота, волнение на водной поверхности и др. При съемке сплошных лесных массивов широкоугольными фотоаппаратами на снимках в стороне, противоположной Солнцу, возникает более или менее заметное светлое размытое пятно.

4. *Комбинированные поверхности* (г) с двумя пиками отражения, например, росистые луга, некоторые посевы (пшеница, рис), галечники.

Помимо отражательной способности объектов, при съемке учитывается также интервал яркостей ландшафта U , называемый иногда *контрастом ландшафта*. От него зависит интервал плотности оптического изображения на снимках; он выражается отношением максимальной на данном участке яркости к минимальной:

$$U = \frac{r_{\max}}{r_{\min}}.$$

Величина интервала яркостей зависит от нескольких условий. При дневном равномерном освещении рассеянным светом, как наблюдается, например, при сплошной облачности, интервал яркостей невелик. В солнечный день он значительно больше и увеличивается за счет светотени. Интервал яркостей летнего ландшафта колеблется в пределах от 2 до 50, но практически не превышает 20.

Контрасты на радиолокационных снимках заметно меняются в зависимости от ориентирования склонов по отношению к источнику излучения — самолету. Тепловые контрасты, фиксируемые при инфракрасной съемке, подвержены значительным изменениям, и в течение суток они не только могут ослабевать или возрастать, но и становиться противоположными. Тепловые контрасты местности в ясный день больше, чем в пасмурный. Большие дневные тепловые контрасты выравниваются в сумерки и становятся несколько большими к рассвету, но с иным распределением яркостей.

Основной контраст, который возникает при съемке в длинноволновой части спектра, — это контраст между сушей и водой, сухими и влажными участками грунтов и почв. Вода обладает наибольшей из

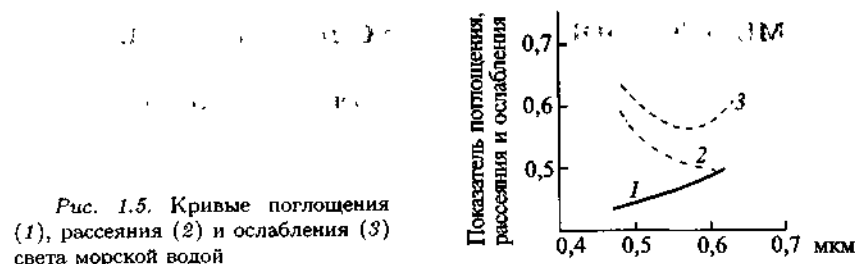


Рис. 1.5. Кривые поглощения (1), рассеяния (2) и ослабления (3) света морской водой

всех природных образований удельной теплоемкостью. Поэтому водные объекты — и естественные, и искусственно созданные (если это не термальные источники), изображаются на инфракрасных, радиотепловых и радиолокационных снимках (позитивах) наиболее темным тоном.

В целом яркость водной поверхности r_M складывается из яркости поверхности озера, реки или моря r_1 , яркости толщи воды r_2 и яркости, обусловленной отражением от дна водоема r_3 (рис. 1.5):

$$r_M = r_1 + r_2 + r_3.$$

Яркость водной поверхности зависит от ее состояния, например, интенсивности волнения, качества воды — загрязненности, мутности, в известной мере — солёности, условий освещения, направления наблюдения или визирования. По последней причине качество снимков при наблюдении в надир заметно меняется от центра снимка к краям. Благодаря блику с поверхности воды, изображение объекта, как уже было сказано, меняется от белого до черного при переходе от снимка к снимку. Яркость, обусловленная рассеянием света в толще воды, зависит от ее химического состава и замутненности взвешенными минеральными частицами и микроорганизмами. Нельзя не учитывать также техническое загрязнение вод, связанное с действием антропогенных факторов. Ослабление, рассеяние или поглощение света водой зависит также от длины волны излучения. В чистых морских и озерных водах поглощаются лучи красной области света, интенсивно рассеиваются синие лучи и в меньшей мере зеленые. Яркость дна водоема зависит от всех упомянутых факторов, а также от характера дна, например песчаного или покрытого растительностью.

1.2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СЪЕМКИ

Воздушная и космическая съемки производятся со значительного расстояния от объектов через толщу атмосферы, которая заметно влияет на видимость объектов и, следовательно, качество снимков. Атмосфера не является абсолютно прозрачной средой, в ней возникает уже известное рассеяние света. Яркость слоя атмосферы, создаваемая рассеянием света, называется *атмосферной* или *воздушной дымкой*. Дымка может быть двух видов. Первый вид дымки обуславливается рассеянием света молекулами газа. Подобное рассеяние относится главным образом к сине-фиолетовой части спектра, чем объясняется голубой цвет неба и дымки. Для наблюдателя с самолета или космического корабля местность, благодаря атмосферной дымке, приобретает голубоватый оттенок.

Второй вид дымки вызывается рассеянием света частицами пыли и влаги. Визуально такая дымка воспринимается как серая. В пустынных районах песчаная пыль окрашивает дымку в желтоватый цвет. Интенсивность пылевой дымки возрастает после бурь, больших лесных пожаров, извержений вулканов. Значительное задымление атмосферы возникает над промышленными и густо заселенными территориями. Интенсивность промышленной дымки меняется со временем и имеет суточный и сезонный ход. Прозрачность атмосферы над промышленными районами понижается к вечеру, в зимнее время прозрачность больше, чем в летнее. Дымка и прямое тепловое воздействие промышленных комплексов и городов создают особого рода микроклимат, который внешне проявляется в том, например, что снежный покров позже устанавливается и раньше сходит.

При наличии дымки тональное многообразие снимков уменьшается. Из-за влияния дымки яркость объектов уменьшается в одинаковой степени τ и к каждому из них прибавляется яркость дымки ΔB :

$$U = \frac{\tau B_{\max} + \Delta B}{\tau B_{\min} + \Delta B}.$$

В результате уменьшения контрастности U пропадают детали изображения. Влияние дымки тем сильнее, чем меньше контраст ландшафта. Эту связь В. А. Фаас предложил выражать через коэффициент задымленности κ , который получается из отношения яркости дымки ΔB к средней яркости фотографируемой местности \bar{B} , с учетом ослаб-

ления ее толщей атмосферы:

$$\kappa = \frac{\Delta B}{\tau \bar{B}}.$$

Искажения в воспроизведении яркостных различий, обусловленные дымкой, до известной степени исправляются с помощью светофильтров, но при этом изменяется соотношение тонов изображения.

Основной помехой при съемке в видимой зоне спектра является облачность. Влияние облачности верхних ярусов сказывается на общем увеличении освещенности и освещенности в тенях. Аэрофотосъемка при высоких перисто-кучевых и высококучевых облаках дает снимки со слабо выраженными тенями. Облака среднего яруса снижают освещенность на одну треть, а нижнего яруса в 2–4 раза. При пасмурном небе сильнее освещаются горизонтальные поверхности, чем склоны. На снимках, полученных в облачную погоду, исчезают тени, растительность изображается в более светлых тонах, тональная структура изображения обуславливается исключительно разностью в отражательной способности объектов. Поэтому тон изображения теснее связывается с характером объекта. При съемке сильно пересеченных, горных районов она дает хорошие результаты. Однако бестеневая съемка с малых высот под облаками практически не используется, потому что подходящие метеорологические условия чрезвычайно редко складываются.

При космической съемке во всех случаях, кроме радиолокационной, облачный покров планеты служит препятствием, закрывающим поверхность Земли. Но при метеорологической съемке облачный покров сам является предметом изображения, и анализ облачности — так называемый нефанализ — дает основание для прогноза погоды. В глобальных масштабах распределение облачного покрова Земли хорошо согласуется с климатическими поясами и зонами (рис. 1.6).

Погодные условия, предшествующие моменту съемки, оказывают влияние на особенности изображения или через большую увлажненность местности, или, наоборот, чрезмерную иссушенность территории и сопутствующую ей пылевую дымку. Местность будет по-разному выглядеть и в натуре, и на снимках в зависимости от того, была ли перед съемкой великая сушь или проливные дожди.

При аэрофотосъемке погодные условия, предшествующие дню съемки, практически никогда не принимаются во внимание, но сама съемка производится в ясную безоблачную погоду с минимальной атмосферной дымкой. При космической съемке необходимость в учете погодных условий стала очевидной. Для разумного выбора времени

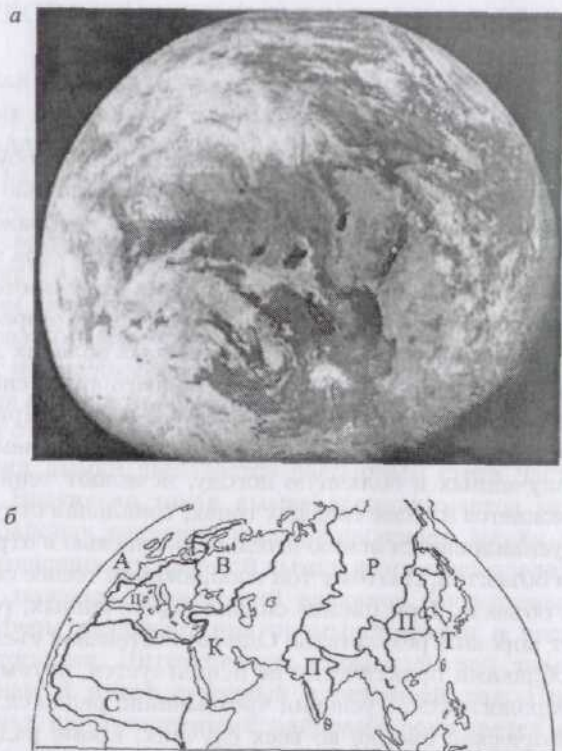


Рис. 1.6. Глобальная космическая фотография Земли (а) и схема систем географических зон (б) (по А. Г. Исаченко). Секторы: А — Приатлантический; Ц — Центральноевропейский и Средиземноморский; В — Восточноевропейский; С — Суданский; К — Континентальный; Р — Резкоконтинентальный; П — Переходный; Т — Притихоокеанский.

съемки и правильной интерпретации содержания снимков необходимо знать о распределении облачного покрова в разное время года. Кроме того, нужны сведения о других метеорологических явлениях: туманах, ветрах, бурях, распределении снежного покрова и др. Покрывая космической съемкой громадные пространства Земли, мы сталкиваемся с различной метеорологической обстановкой, без знания которой невозможно надежно дешифровать космические снимки.

Метеорологические факторы должны учитываться и при аэросъемке. Сравнение снимков, сделанных в сухую погоду и после дождей, показало, что связь почв с микрорельефом и сами почвенные разности лучше обнаруживаются, если местность в меру увлажнена, но чрезмерное увлажнение искажает картину. С другой стороны, иссушенные

почвы и грунт на аэроснимках получаются монотонными и с трудом дифференцируются. Метеорологические условия, отклоняясь от средних, вносят искажения в нормальный для данного ландшафта ход фенофаз. Фенологами подчеркивается, что сроки наступления первых фенофаз в значительной степени определяют весь дальнейший ритм фенологического развития. Например, в тундре задержка в развитии в весеннее время в связи с поздним сходом снежного покрова приводит к сокращению аспектов. Свойственный сухим степям вторичный максимум в развитии растений, приходящийся на осень, тоже связан с погодными условиями. Теплая и влажная осень способствует массовой генерации всходов и цветению. В засушливые годы осенней генерации может и не быть. Так как колебания погодных условий носят ритмичный характер, аналогичный порядок носит сезонный ход развития фитоценозов. При этом наиболее высокая дешифрируемость растительного покрова наблюдается в годы с метеорологическими условиями, близкими к норме, т. е. к средним многолетним.

1.3. СЕЗОН СЪЕМКИ

Сезонные изменения вида местности связаны со сменой времен года. Наибольшей сезонной изменчивости подвержена растительность, определяющая физиономичность ландшафта. Каждой растительной ассоциации свойственен характерный ритм развития, который, в частности, нарушается по вине случайных обстоятельств, например, метеорологических факторов. Однако ряд аспектов, называемых константными, повторяется неизменно из года в год. Поэтому существуют типичные весенние, летние и осенние аспекты. Так, например, для лесов умеренной зоны фазы пожелтения и сброса листвы всегда присутствуют полностью. Устойчивы также сами осенние цвета растительного покрова.

Вступление в фазу расцветивания зависит от типа леса. Например, коренные леса вступают в эту фазу значительно позже, чем леса, производные по гарям и вырубкам. Число аспектов различно для ценозов. Особенно бедны в этом отношении еловые и пихтовые леса, их весенний, летний и осенний аспекты очень однообразны. Лиственные леса имеют несколько большее число аспектов за счет осенней расцветки. Именно в этот период наблюдается наибольшее количество тонов и цветовых контрастов. Поэтому осенний аспект позволяет легче и точнее производить типологическое дешифрирование лесов. Наибольшим количеством аспектов обладают травянистые сообщества — луга. Поочередное вступление в фазу цветения различных популяций

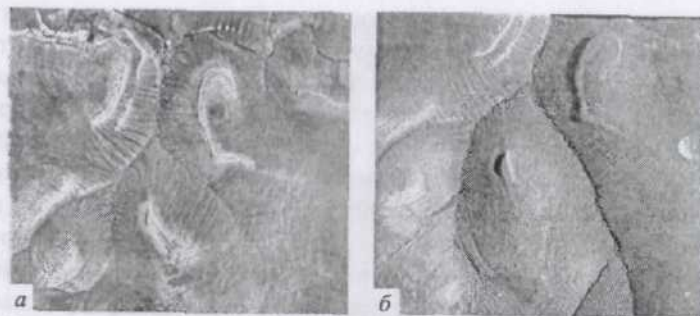


Рис. 1.7. Сезонные изменения местности на аэроснимках: Лиственничная тайга летом (а) и осенью (б).

непрерывно изменяет рисунок изображения на снимках. Эти изменения происходят в течение всего летнего периода. Смещение фаз связано не только с погодой, но также с рельефом и характером почв и грунтов (рис. 1.7).

Связь фаз развития растительного покрова с рельефом особенно заметна в условиях малого прихода тепла, например, в тундре, где соллярная ориентация склонов существенно влияет на смещение фаз. В северной тундре можно наблюдать 4–5, а в некоторых тундрах до семи красочных аспектов в течение лета. Разнообразны также сезонные красочные аспекты болот (табл. 1.2.).

Таблица 1.2. Сезонные изменения красочного аспекта болот (по Е. А. Галкиной)

Ассоциация	Весна	Лето	Осень
Гидново-разнотравно-осоковая	ярко-зеленый	ярко-зеленый	желто-зеленый
Сфагново-осоковая	зеленый всех оттенков	зеленый всех оттенков	желтовато-сероватый
Сфагново-пушицевая	темно-зеленый	серовато-желтый	серый
Сфагново-кустарниковая	буро-зеленый	буро-зеленый	пестрый
Сфагново-лишайничково-кустарниковая	пестрый (бурый)	пестрый (коричневый)	очень пестрый

Многообразие наблюдаемых в природе красочных аспектов не всегда находит отражение на снимках. Смена аспектов становится сменой тонов или рисунка изображения только в том случае, если применяемые фотографические материалы или съемочная аппаратура достаточно

тонко фиксируют различия в яркости объектов в данной зоне спектра. Существенное значение имеет масштаб съемки: чем более обобщено изображение на снимках, тем меньше цветовых деталей оно передает и тем менее оно чувствительно к тоновым или красочным изменениям внешнего вида местности. В силу большого обобщения некоторые переходы тонов и цветов скрадываются, определенные аспекты не фиксируются. Однако на космических снимках среднего масштаба достаточно ясно отображается смена сезонов, особенно заметны изменения в заснеженности территории, высотной поясности в горах, менее заметны сезонные изменения в растительном покрове.

Сезонные изменения, ярко выраженные у сельскохозяйственных ландшафтов и связанные с распахкой полей, осушением и орошением земель, уборкой урожая, детально фиксируются на аэроснимках и поэтому достаточно определенно дешифрируются на аэрофотоснимках и космических снимках крупного и среднего масштабов.

В связи с сезонным изменением растительного покрова возникает задача выбора времени и технических средств съемки. Применительно к лесной аэрофотосъемке Н. Г. Хариним были составлены карты европейской части страны, на которых показаны сроки аэрофотосъемки лесов на пленки различного типа. Фотографическую съемку рекомендуется начинать в следующие сроки: юг — середина мая, центр — 1 июня, северо-запад — 15 июня. Для цветной спектрально-зональной пленки: юг — 20 сентября, центр — 10 сентября, северо-запад — 15 августа (табл. 1.3.).

Таблица 1.3. Рекомендуемый тип фотопленки для аэросъемки растительного покрова разных географических зон и сезонов

Зона	Весна	Лето	Осень
Тундра	Цветная Ортохром Инфрахром	цветная спектрально-зональная	Цветная Панхром Инфрахром
Лес	Панхром Ортохром	цветная спектрально-зональная	Цветная Панхром
Степь	Цветная Панхром	—	Цветная Изохром
Пустыня, полупустыня	Цветная Инфрахром	—	—

Существенным сезонным изменениям подвержен уровень воды в реках и озерах. Разлившиеся реки скрывают истинные границы русел. Поэтому для топографического дешифрирования предпочитают проводить съемку при низкой воде.

Все реки, кроме искусственно зарегулированных, можно разделить (по Б. Д. Зайкову) на три группы: реки с весенним половодьем, реки с половодьем в теплую часть года и реки с паводочным режимом. Для первых двух групп характерна повторяющаяся из года в год высокая вода в определенное время. Для третьей характерны кратковременные подъемы воды в любое время года. Эти особенности режима рек учитываются при планировании сроков съемки и дешифрирования снимков. Существенное изменение в соотношении площадей воды и суши и в конфигурацию берегов могут внести стонно-нагонные явления, приливы и отливы. Поэтому при дешифрировании желательно иметь данные уровенных наблюдений или (для морских берегов) сроков приливов и отливов.

Сезонный ход имеет временная снеговая граница в горах и климатическая снеговая граница в умеренной зоне. Снежный покров резко меняет внешний вид местности и чаще всего является помехой при съемке. Вместе с тем распространение снежного покрова по территории, время его установления и схода могут представлять специальный интерес. Однако предпочтение в большинстве случаев все же отдается летним снимкам как наиболее богатым по содержанию. Но в конечном счете выбор сезона съемки определяется задачей, которую предстоит решить с помощью материалов съемки, и соответствием этой задаче состояния и вида местности.

Для ландшафтных зон территории России с прилегающими территориями стран СНГ, принимая во внимание орографию, растительный покров, принадлежность к определенному климатическому поясу и местные климатические особенности, в первом приближении (без учета облачности) могут быть рекомендованы периоды съемок, приведенные в табл. 1.4.

Таблица 1.4. Рекомендуемое время космических съемок разных ландшафтных зон

Ландшафтная зона	Время съемки	Предпочтительный месяц
Тундра европейская и азиатская	Июль-август	Август
Тайга северная	Июнь-сентябрь	Август
Тайга южная	Июнь-октябрь	Сентябрь
Степь европейская и азиатская	Май-октябрь	Май
Горно-таежные районы Сибири	Июль-сентябрь	Конец августа — начало сентября
Пустыни и полупустыни Средней Азии	Апрель-октябрь	Апрель
Высокогорные районы Средней Азии	Июль-сентябрь	Август
Муссонная область Дальнего Востока	Сентябрь-октябрь	Сентябрь

1.4. УЧЕТ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Многолетние изменения местности наилучшим образом устанавливаются путем повторных съемок. Выбор интервала времени между съемками зависит от интенсивности и направленности изменений, происходящих на территории. Задача усложняется тем, что при планировании повторных съемок необходимо руководствоваться теми самыми закономерностями, которые могут быть полностью выяснены только в результате съемок. Повторные воздушные и космические съемки чаще всего делают через произвольные промежутки времени, полагая, что в любом случае сопоставление снимков позволит получить представление о характере временных процессов. Однако изменения, которые носят колебательный характер, например, изменения уровня воды в реках, озерах, морях, повторная съемка, выполненная в произвольные сроки, может не выявить или выявить не в полной мере.

Любая однажды сделанная съемка дает частное, в известной степени случайное представление об объекте, характеризует лишь одно звено в непрерывной цепи изменений, происходящих на местности. Поэтому при анализе снимков следует не только констатировать факты, запечатленные на снимках, но желательно обращаться к прошлому и будущему, строя весь процесс анализа в такой последовательности:

- 1) диагноз — описание состояния местности на момент съемки, установление основных природных процессов и хозяйственных мероприятий;
- 2) реконструкция прежнего состояния местности, в ближайшем или отдаленном прошлом, датировка ранее бывших событий по их следам, установление темпов естественного изменения или хозяйственного освоения территории;
- 3) прогноз — заключение о тенденции в развитии природного комплекса или преобразования территории.

Среди процессов и явлений, из которых складывается динамика развития природных комплексов, выделяются поступательно-возвратные, приводящие к возрождению природных условий, существовавших в начале цикла, и поступательно-направленные, которые приводят к необратимым изменениям в природе. Действуя совместно, внешние и внутренние процессы и явления приводят к систематическим направленным изменениям, темпы которых неодинаковы.

Многолетние изменения, замкнутые в циклы с промежутком времени в пределах двух-трех десятилетий, практически улавливаются аэро-съемкой и могут быть, с одной стороны, подтверждены и уточнены

этим способом, с другой — учтены при выборе времени съемки и интерпретации изображения. Циклы с большей протяженностью не покрываются тем временем, которое прошло с начала использования аэрофотосъемки, и поэтому рассматриваются как поступательные изменения. На космических снимках пока улавливаются лишь быстропротекающие процессы, например, атмосферные явления, дрейф льдов, изменение поверхностных температур моря и другое.

Сами по себе изменения в природе могут носить непрерывный, скачкообразный и катастрофический характер. Медленная эволюция и скачки перемежаются в развитии всех природных комплексов. Непрерывные изменения в более или менее выраженной форме испытывают все компоненты ландшафта: растительность, воды (гидрографическая сеть), рельеф. Процессы водной и ветровой эрозии, а также аккумуляции изменяют рельеф. С водной эрозией связана систематическая деформация русел и дельт рек (рис. 1.8). Изменения рельефа носят необратимый характер и происходят сравнительно медленно.

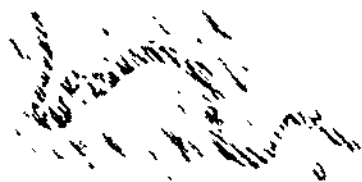


Рис. 1.8 Дельта реки Или. Русло реки, занесенное песками

Катастрофические изменения, радикально изменяющие природу на более или менее значительной территории за относительно короткий срок, связаны с тектоническими явлениями, например, землетрясениями, деятельностью вулканов, наводнениями, например, цунами. Но особенно велика роль человеческой деятельности. Она проявляется в прямом воздействии на среду через функционирование предприятий и действий путей сообщения, связи и транспортировок, разработку полезных ископаемых и сопровождающих ее загрязнений территории. В целом происходит смена природного ландшафта сельскохозяйственным, промышленным и городским.

При необходимости в непрерывном или систематическом наблюдении за состоянием географической среды воздушная и космическая съемка становится элементом экологического мониторинга. *Экологический мониторинг* — это самонаблюдение, построенное как обратная

связь в экосистеме «человек-природа», позволяющая контролировать воздействие на среду и предупреждать ее нежелательное влияние на людей. При этом аэрокосмические снимки и другие результаты дистанционной съемки играют роль «зеркала», беспристрастно отражающего ситуацию в природной среде, возникшую в результате случайных или спланированных воздействий людей на естественные объекты и протекающие процессы.

Климатические изменения сказываются, прежде всего, на смещении фенологических фаз, но могут привести и к более серьезным последствиям, в том числе к смене растительного покрова. Сукцессия растительных сообществ происходит по причине изменения погодных условий, увлажненности территории, уровня грунтовых вод, а также пожаров, вырубки лесов, выпаса скота. Так, на месте лесов на севере появляется тундра, на юге — степь. Сами по себе изменения в природе носят разный характер. Одни приводят лишь к изменению внешнего вида, но не меняют сущности природного или антропогенно-природного комплекса. Другие приводят к принципиальным изменениям, преобразованиям, создающим иной тип местности.

Ландшафты тундровой зоны относительно стабильны и испытывают преимущественно сезонные изменения. Вместе с тем границы отдельных фаций подвержены непрерывным изменениям, связанным с большей или меньшей мощностью снежного покрова в зимний период.

Ландшафты таежной зоны всюду, где господствует коренная тайга, внешне мало изменяются. Однако они подвержены систематически возникающим пожарам. Гари занимают значительные пространства и вносят большое разнообразие в таежный ландшафт. Выгоревшие участки различной давности, поросль и производные леса представляют собой неустойчивые, быстро изменяющиеся переходные растительные комплексы. Особенно быстрые изменения происходят в первые годы после пожара. В горно-таежных районах на месте сгоревшей однородной тайги чаще всего образуется несколько самостоятельных участков со своим комплексом растительности.

Ландшафты степной зоны и пустынь испытывают наибольшие изменения внешнего вида, связанные с изменением погодных климатических условий и, как следствие, с увлажненностью территории.

Значительным периодическим и непериодическим изменениям подвержена гидрографическая сеть. Многолетние изменения речных дельт накапливаются систематически. Весенние разливы рек умеренной зоны делают их внешний вид на снимках неузнаваемым.

Глава 2

АЭРОКОСМИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

2.1. ВОЗДУШНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

Воздушную съемку производят, как правило, с самолетов, хотя возможно применение других летательных аппаратов: вертолетов, мини-самолетов, дельтапланов, аэростатов и даже воздушных змеев.

Самолеты, применяемые для съемки, должны отвечать ряду особых требований, обеспечивая удобный обзор местности во всех направлениях. Для этого по бортам аэросъемочных самолетов устанавливаются плексиглазовые сферические колпаки-блистеры. Скорость полета должна быть достаточно малой — 100–350 км/ч, чтобы не смазывалось изображение на снимках, особенно при съемке в крупных масштабах. Потолок, т. е. максимальная высота, — не менее 5 км, а для съемок в горах — 8–10 км. Запас горючего — 6–10 ч полета, чтобы обеспечить большой радиус действия, особенно для работы в малонаселенных, удаленных и труднодоступных районах, где аэродромы могут быть расположены далеко от района съемки. Аэросъемочные самолеты должны иметь малый разбег при взлете и пробег при посадке, быть нетребовательными к взлетной дорожке, маневренными и устойчивыми в полете. Пределы колебаний машины в полете составляют: продольное (тангаж) — от $+1$ до 2° , поперечное — от $+2$ до 3° , азимутальное (рысканье) $+1^\circ$, по высоте — от 0,01 до 0,02 высоты полета. Самолеты оснащаются необходимым навигационным оборудованием, включая визиры, радиовысотомер, автопилот, курсовую систему, астрокомпас, аэрофотосъемочное оборудование должно быть удобно размещено и доступно для обслуживания в полете.

В настоящее время для выполнения воздушных съемок используются либо обычные самолеты, приспособленные и доработанные

для съемок, либо самолеты, специально сконструированные для этих целей. Среди отечественных аэросъемочных самолетов следует упомянуть: АН-2, АН-30, ИЛ-14 ФК (ФКМ), ТУ-134 СХ, АН-28 ФК (табл. 2.1.).

Самолет АН-2, широко используемый в хозяйстве, сравнительно удачно был приспособлен для съемок. Он оборудован двумя люками, над которыми устанавливается оборудование для фотографических и геофизических съемок. Этот самолет наиболее часто используется для крупномасштабных съемок с малых высот небольших участков местности. Вариант самолета с усиленным двигателем, получивший название АН-6, предназначен для эксплуатации в горных районах на геофизических съемках (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Самолет АН-2.

В 1998 г. самолет АН-2 подвергся значительной модернизации, был сменил мотор и поставлено современное навигационное и аэросъемочное оборудование. Самолет получил наименование АН-3.

Самолет ИЛ-14 ФК (ФКМ) — двухмоторный моноплан, гражданский самолет, переоборудованный для аэрофотосъемок в средних и мелких масштабах. На самолете установлен автопилот с автоматом программного разворота, курсовая система, астрокомпас. На самолете ИЛ-14-ФКМ оборудовано три люка для установки фотосъемочного и специального оборудования (рис. 2.2).

Самолет АН-30 был специально сконструирован для съемочных работ на базе пассажирского АН-2. Он обладает хорошей управляемостью, маневренностью и устойчивостью в полете. В отличие от АН-2 и ИЛ-14 ФКМ носовая часть самолета остеклена, что существенно облегчает работу штурмана-аэросъемщика. В фюзеляже оборудовано пять застекленных люков — это позволяет использовать все типы аэрофотоаппаратов на разных высотах полета. Комплекс аэрофотооборудо-

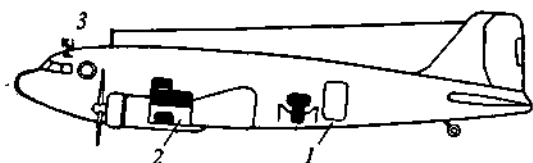


Рис. 2.2. Аэросъемочный самолет ИЛ-14. 1 — аэрофотоаппарат, 2 — аэрогеофизическая аппаратура, 3 — солнечно-теневого компас.

вания включает три или четыре аэрофотоаппарата, топографический радиовысотомер и др.; благодаря чему с самолета можно выполнять съемку в масштабах от 1: 5000 до 1: 20 000.

ТУ-134 СХ — самолет новой модификации, основное назначение которого — обслуживать сельское хозяйство. В то же время он может в автоматическом режиме производить радиолокационную, инфракрасную и обычную фотографическую съемки. На его борту имеется оборудование для обработки материалов съемки и дешифрирования. Возможности ТУ-134 СХ позволяют также вести ледовую разведку, геофизическую съемку для геологической разведки, обслуживать морской рыбный промысел, облегчая поиски косяков рыб.

Создана серия самолетов-лабораторий, оснащенных комплексом бортовых съемочных систем для оперативной обработки результатов съемки. Например, оборудован и эксплуатируется самолет-лаборатория АН-26 «Арктика». На нем установлены информационно-измерительные комплексы, предназначенные для обнаружения скопленного рыб, морских млекопитающих, определения характеристик льдов, загрязненности вод нефтепродуктами и др.

Таблица 2.1. Основные данные самолетов, используемых для аэросъемок

Тип самолета	Количество двигателей	Крейсерская скорость, км/ч	Потолок, м	Продолжительность полета, ч
АН-2	1	180	5000(АН-6)	7
ИЛ-14 ФК	2	300	5600	8
АН-30, АН-28 ФК	2	300-450	8000	7
«Кинг 200»(США)	2	250	10500	6

Зарубежные фирмы, особенно США, выпускают аэросъемочные самолеты с большим разнообразием летных характеристик. На ежегодных авиационных салонах США выставляют несколько вариантов преимущественно легких одно- и двухмоторных самолетов с небольшой скоростью, но с большим потолком и продолжительностью полета.

Производство аэрофототопографических съемок с самолетов требует значительных затрат времени и средств. Поэтому в последние годы появился интерес к аэросъемке с более легких носителей, начиная от вертолетов и завершая минисамолетами и дельтапланами.

Вертолеты, с точки зрения аэросъемщиков, штурманов и операторов, не самые удобные аппараты. К тому же они менее устойчивы в полете, их грузоподъемность невелика. Тем не менее вертолеты нашли широкое применение в летно-съемочных работах. Существуют вертолеты различных конструкций, отличающиеся схемой размещения винтов. В аэросъемке нашли применение главным образом вертолеты с одновинтовой (МИ-2 и МТИ-81) и двухвинтовой соосной схемой расположения винтов (К-26). Главные недостатки вертолетов — незначительная дальность полета, так, у вертолета К-26 она составляет 400 км.

Все типы вертолетов нашли применение при съемке ограниченной площади и в основном для специальных целей, в различных географических и геологических исследованиях.

С недавних пор в разных странах стало распространяться изготовление и использование для местных съемок минисамолетов и мини-вертолетов. Минисамолеты с дистанционным управлением по радио испытывались на съемках с малых высот в Германии, России, США, Чехии, Японии. При размахе крыльев 26 м и длине фюзеляжа 2 м минисамолет способен нести фотокамеру весом до 30 кг. За 20 мин. полета на высоте около 150 м он покрывает съемкой в масштабах 1:1000–1:3000 площадь 300–8000 кв. км.

Были также опыты с беспилотным радиоуправляемым летательным аппаратом (БПЛА), который поднимался на высоту до 10 км и развивал скорость полета 350–850 км/ч. В Германии испытывался радиоуправляемый летательный аппарат со складывающимся (трансформирующимся) крылом. Он поднимал максимальный груз 9–10 кг, взлетал с полосы в 5 м и развивал скорость до 60 км/ч. Съемка производилась малоформатным фотоаппаратом. В Германии же в связи с возрастающей дороговизной горючего для аэрофотосъемки был сконструирован и испытан мини-вертолет. Его плоскости имеют размах 1,45 м, время полета 20 мин., грузоподъемность 5 кг, на нем была установлена малоформатная камера «Хассельблат» со сменными объективами 60, 80, 150 мм, что позволяло менять масштаб съемки, не изменяя высоту полета.

В последнее десятилетие отечественные специалисты обратили внимание на возможности мотodelтапланов, используемых для съемки малых по площади участков. Был разработан образец мото-

дельтаплана МДП-А «Фрегат», который может нести 170–190 кг, летать до высоты 3000 м, взлетать с площадки 20×50 м. Он приспособлен для установки на нем аэрофотоаппарата АФА-ТЭ-10. Предполагается, что съемка небольших участков позволит вести оперативное обновление топографических и иных карт крупного масштаба, регистрировать нарушения среды, а также поможет решить задачу картографирования морских и озерных мелководий и упростить создание земельного и водного кадастра.

Однако самое «экзотическое» устройство для воздушной съемки — это обычный воздушный змей. Около ста лет назад француз Артур Батю воспользовался змеем самой простейшей конструкции, чтобы поднять в небо фотоаппарат и сделать снимки с высоты птичьего полета. Разумеется, эта идея не нашла широкого применения. Однако последователей оказалось немало, и в 80-х годах XX века несколько энтузиастов создали «Всемирную ассоциацию аэрофотосъемки с помощью воздушного змея».

Наконец, последняя группа — это летательные аппараты легче воздуха: *дирижабли и воздушные шары*, интерес к которым также не угасал с тех пор, как были получены первые фотографии в середине XIX века. Существуют два варианта съемки: с привязных воздушных шаров и шаров в свободном полете.

Опыт использования привязных воздушных шаров для съемок небольших площадей был описан специалистами Англии и Франции. Шар, наполненный гелием, крепится к лебедке, установленной на автомобиле-вездеходе. Камера практически неподвижна и свободна от вибрации, когда съемка ведется не на ходу. Высота съемки от 5 м до 150 м и может быть увеличена более чем до 200 м. Съемка выполняется двумя камерами одновременно: телевизионной и обычной фотографической, управляемыми с земли, где и принимают ТВ изображение. Поскольку установка с лебедкой перемещается, съемка может производиться на достаточно большой площади. Такого рода съемочная система очень удобна для ведения регулярных наблюдений, например, заповедной территории. Фотосъемка с шаров в свободном полете может представлять разведывательный, исследовательский и спортивный интерес.

Английскими специалистами произведены расчеты конструкции сверхкрупной стационарной аэроплатформы на основе высотного дирижабля для проведения длительных наблюдений. Технически вполне возможно создание дирижабля такого объема, при котором он будет способен удерживать полезный груз свыше 100 т на высоте до 20 км,

которая считается безопасной в метеорологическом отношении. Преимущества такой платформы в обеспечении длительных съемок, при минимуме вибрации и иных помех, возможность периодической смены оборудования и снятия материалов съемок практически в любое время.

2.2. ЛЕТНО-СЪЕМОЧНЫЕ РАБОТЫ

В зависимости от метода съемки, используемых съемочных систем и назначения материалов съемки различным образом организуются и проводятся летно-съемочные работы. Наибольшее применение имеет хорошо отработанная аэрофотографическая съемка, которая широко используется как для создания топографических карт, так и в географических и геологических исследованиях.

Воздушной съемке предшествует составление проекта летно-съемочных работ. Потребитель материалов указывает в заказе, во-первых, район съемки, границы съемочного участка, продольное и поперечное перекрытия снимков, во-вторых, выбирает тип аэрофотоаппарата, фокусное расстояние объектива, тип фотографической пленки, масштаб снимков. И заказчик и исполнитель руководствуются действующими в данный момент «Основными положениями по аэрофотосъемке, выполняемой для создания и обновления топографических карт и планов».

При разработке технического проекта составляются схемы залета и ведомости съемочных участков, расчетные ведомости затрат летного и съемочного времени, устанавливается потребность в материалах, подсчитывается стоимость работ и др.

Расчет аэрофотосъемочных работ начинается с установки выдержки на АФА в соответствии с чувствительностью фотопленки, светосилой объектива и освещенностью местности. Однако во избежание неожиданного брака, в начале съемки оператор делает несколько пробных кадров, которые позволяют определить режим проявления пленки.

Расчет залета продлевается в такой последовательности.

1. Определяется высота фотографирования H по заданному масштабу съемки $\frac{1}{m}$ и фокусному расстоянию объектива АФА.

При этом различают:

а. Абсолютную высоту полета H_a по отношению к уровенной поверхности, принятой для государственного нивелирования.

б. Высоту полета относительно аэродрома базирования H_r .

в. Истинную высоту фотографирования H_c для центра каждого снимка относительно поверхности земли (она определяется в полете).

г. Среднюю высоту фотографирования H_f для всей площади залета.

2. Вычисляется базис съемки (расстояние между точками съемки вдоль линии полета)

$$B = l_1 \frac{100 - P_1}{100} m,$$

где P_1 — продольное перекрытие, l_1 — длина стороны кадра, $1 : m$ — масштаб снимков.

3. Рассчитывается расстояние между маршрутами

$$L = l_2 \frac{100 - P_2}{100} m,$$

где P_2 — поперечное перекрытие, l_2 — сторона кадра.

4. Определяется максимально допустимая выдержка

$$t_{\max} = \frac{\sigma m}{W} c,$$

где $1 : m$ — масштаб снимков, W — скорость самолета (м/с), σ — допустимая величина сдвига («смаза») изображения.

Современные аэрофотосъемочные системы, как правило, включают в себя гироскопические установки, компенсирующие сдвиг, что особенно важно при съемке с малых высот в крупном масштабе.

5. Подсчитывается интервал между экспозициями T_c

$$T_c = \frac{B}{W}.$$

6. Считается число снимков в маршруте N_c

$$N_c = \frac{A}{B},$$

где A — длина маршрута (длина участка); B — базис съемки.

7. Определяется число маршрутов

$$N_M = \frac{C}{L},$$

где C — ширина площади съемки (ширина участка съемки); L — расстояние между маршрутами.

8. Подсчитывается общее число снимков, покрывающих всю площадь съемки

$$R = N_c \cdot N_M.$$

Фотографирование земной поверхности может производиться при разных положениях оптической оси фотографического аппарата. В зависимости от этого различают *плановую* и *перспективную* съемки. Съемка и снимки называются плановыми, если углы наклона не превышают $1,5-2^\circ$. Современные гироскопические устройства позволяют производить аэрофотографирование со средними углами наклона оптической оси $5-6'$, т. е. получать практически горизонтальные снимки. Фотографирование при наклонном положении оптической оси АФА называется *перспективной* съемкой. На практике наибольшее применение имеет плановая съемка, хотя в отдельных случаях с успехом могут быть использованы и перспективные снимки. Хорошие результаты получаются при одновременном использовании плановых снимков и перспективных как дополнительного материала.

В зависимости от характера покрытия местности снимками различают съемку *маршрутную* и *площадную*. Маршрутной съемкой называется фотографирование полосы местности по определенному маршруту. Она может быть прямолинейной, криволинейной или ломаной, если, например, производится вдоль вытянутых объектов: рек, побережий и т. п. (рис. 2.3).

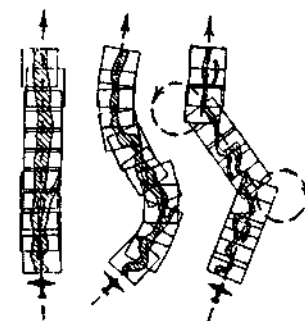


Рис. 2.3. Схема маршрутных аэрофото-съемок

Съемка значительной территории производится путем прокладки ряда прямолинейных параллельных маршрутов. Снимки, составляющие маршруты, как и сами маршруты, перекрываются между собой. Перекрытие между снимками вдоль маршрутов, или продольное перекрытие, делается не менее $57-60\%$ от размера стороны кадра и увеличивается в горных районах. Перекрытие между снимками смежных

маршрутов — поперечное перекрытие — обычно задается равным 30–40%. Заданные перекрытия гарантируют сплошную съемку местности, без разрывов. В дальнейшем перекрытие необходимо для создания сети опорных точек и взаимной увязки снимков при составлении фотопланов и создания карты. Продольное перекрытие между соседними снимками позволяет, что очень важно, рассматривать их стереоскопически (рис. 2.4).

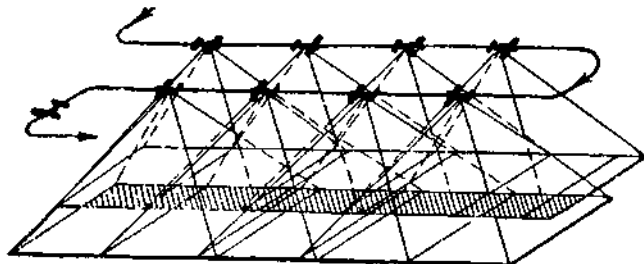


Рис. 2.4 Схема аэрофотосъемки площади

Съемка магнитная и другие геофизические съемки также производятся по маршрутам различной частоты и протяженности и при разной высоте полета, но преимущественно малой.

Во время съемочного полета должны выдерживаться направление и прямолинейность маршрутов, высота фотографирования и скорость полета. Самолетовождение осуществляется визуальным по наземным ориентирам и инструментально; управление самолетом ручное или с помощью автопилота. При расчетах залета запроектированные маршруты наносятся на полетную карту вместе с границами съемочного участка и входными и выходными наземными ориентирами.

Для прокладки прямолинейных маршрутов служит солнечно-теневой указатель курса, устроенный по принципу гномона. Если самолет летит по прямой, то тень от гномона показывает практически все время один и тот же отсчет на лимбе. В полете определяется угол сноса самолета, и фотоаппарат разворачивают по истинному направлению полета. Высота полета контролируется по барометрическому высотомеру и выдерживается с отклонениями ± 10 – 15 м. Кроме того, на борту устанавливается барограф-самописец, непрерывно регистрирующий высоту полета. При съемке для топографических целей на самолетах устанавливается радиовысотомер. Современные аэросъемочные самолеты оснащены навигационными системами, определяющими пространственное положение самолета (снимка) в момент экспозиции с

высокой степенью точности. Скорость самолета относительно поверхности Земли, т. е. путевая скорость, определяется и выдерживается с погрешностью не более ± 3 – 5 км/ч.

Летно-съемочные работы завершаются фотографической обработкой заснятых материалов и составлением накидного монтажа. *Накидным монтажом* называется приближенное соединение снимков в одну общую картину. Снимки соединяют друг с другом по общим контурам в перекрытии и закрепляют кнопками на вертикальном деревянном щите. По окончании монтажа на него наносят границы снимаемого участка, чтобы убедиться в том, что весь участок покрыт съемкой. В результате просмотра устанавливается, выдержано ли заданное перекрытие между снимками и маршрутами, не выходят ли углы наклона снимков за пределы допустимого, каково фотографическое качество фотоизображений.

Накидной монтаж фотографируется, и получается *репродукция накидного монтажа*, которая является документом, удостоверяющим качество залета, и, кроме того, может служить в дальнейшем справочным материалом, своего рода «оглавлением» при подборе снимков. Наконец, репродукция накидного монтажа может использоваться как уменьшенная фотосхема.

2.3. КОСМИЧЕСКИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

Первыми носителями съемочной аппаратуры в космосе были баллистические ракеты, которые запускались на разные высоты от нескольких сотен метров до 200–300 км; на них устанавливались аэрофотосъемочные камеры. После достижения верхней точки полета и завершения съемки ракета или ее фотографическая установка спускалась на парашюте. Такие исследовательские запуски осуществлялись в России, США, Англии, Аргентине, Австралии. Однако с запуском искусственных спутников Земли (ИСЗ) интерес к ракетным съемкам практически упал.

В настоящее время космические летательные аппараты, используемые для съемки Земли, подразделяются на автоматические и пилотируемые искусственные спутники Земли (ИСЗ), космические корабли (КК), орбитальные станции (ОС), космические платформы (КП), а также межпланетные станции (АМС).

Большинство ИСЗ и межпланетных станций, а также пилотируемых кораблей и орбитальных станций с космонавтами на борту запускается с целью выполнить большую программу, включающую разно-

стороннее изучение Космоса, Земли и иных планет. Для некоторых из них съемка и изучение Земли составляют лишь попутную задачу, как, например, для космических станций «Зонд» и «Луна» (Россия), или космических кораблей системы «Аполлон» (США), которые запускались на Луну. Вместе с тем осуществляется систематический запуск специализированных ИСЗ.

В зависимости от решаемых задач ИСЗ подразделяются на *исследовательские* и *технические*, или *прикладные*.

Исследовательские ИСЗ бывают геофизические, астрономические, геодезические, метеорологические, ресурсные. Последние могут быть специализированы на изучение морей и океанов. Технические спутники — это спутники связи и навигационные.

Геодезические и *навигационные* ИСЗ предназначены для определения местоположения объектов. Достигнутый к настоящему времени высокий уровень точности определения положения привел к тому, что функции навигационно-геодезических систем стали совпадать. Геодезию и навигацию обслуживают специальные спутники и целые системы ИСЗ. В настоящее время их четыре: американская система «Транзит» и отечественная «Цикада» относятся к первому поколению; ко второму — американская система определения положения «ГПС», обозначаемая также «НАВСТАР», и отечественная глобальная система «ГЛОНАСС».

Система «ГПС» включает 24 спутника, вращающихся вокруг планеты таким образом, что в любом пункте Земли одновременно наблюдается четыре ИСЗ, относительно которых определяется положение наблюдателя.

Астрономические спутники Земли представляют собой летающие обсерватории, вынесенные за пределы земной атмосферы и оборудованные астрономическими приборами для наблюдения за звездами, планетами и Солнцем. Примером астрономического ИСЗ является 12-тонный космический телескоп, носящий имя известного американского астронома Э. Хаббла. Он был выведен в 1990 г. на околоземную орбиту с высотой около 500 км космическим кораблем многоразового использования «Дискавери».

Геофизические спутники запускаются для изучения верхних слоев атмосферы и ближайшего к Земле космического пространства. К ним относятся многие из отечественных ИСЗ серии «Космос».

Метеорологические спутники ведут непрерывную съемку дневной и ночной сторон Земли телевизионными камерами в видимой и инфракрасной частях спектра. Результаты предназначаются для изуче-

ния циркуляции атмосферы и процессов формирования погоды. К метеорологическим спутникам относятся некоторые отечественные ИСЗ серии «Космос», входящие в систему «Метеор». К числу метеорологических ИСЗ относятся также американские спутники серий «Тайрос», «НОАА» и др.

Для глобальной съемки облачного покрова Земли используется отечественный спутник «Молния». Глобальные снимки Земли были получены также автоматическими космическими станциями «Зонд», основное назначение которых состояло в съемке Луны. Усилиями специалистов России, США, Индии, Японии и Европейского космического агентства создана Всемирная метеорологическая сеть, состоящая из пяти геостационарных спутников, окружающих Землю в экваториальной плоскости, и четырех спутников на сравнительно низкой орбите (с высотой до 900 км) околополярных ИСЗ. Первый ИСЗ этой системы был запущен в 1974 г.

Ресурсные спутники используются для всестороннего изучения Земли. Для исследования природных ресурсов Земли (ИПРЗ) запускаются как ИСЗ, работающие в автоматическом режиме, так и пилотируемые орбитальные корабли и космические станции. В группу отечественных автоматических ИСЗ входят спутник серии «Метеор-природа», а также ряд спутников из серии «Космос», которые стали запускаться с 1979 г.

В 1972 г. США запустили ресурсный спутник серии «Лендсет»; первые три вели съемку Земли с высоты около 900 км телевизионной камерой и сканером. Следующие ИСЗ «Лендсет» были запущены на круговую орбиту с высотой около 700 км и вели съемку многоспектральной камерой. В 80-е годы спутники ИПРЗ стали запускаться в Индии и Японии.

В 1986 г. во Франции был выведен на орбиту спутник «СПОТ». Его техническое оснащение и параметры съемочной системы были значительно выше всех известных к тому времени ИСЗ, созданных для изучения природных ресурсов Земли.

Разработка и запуск ресурсных ИСЗ новых конструкций и возможностей происходит во многих странах: России, США, Франции, Японии, Индии, Бразилии, Канаде и др. и Западноевропейском управлении космическими исследованиями (ЕСА). Основное направление совершенствования съемочных систем — увеличение числа регистрируемых зон спектра, и особенно повышение разрешающей способности съемочных систем.

В 1995 г. запущен французский ИСЗ, оснащенный аппаратурой с

разрешением 1 м. Франция совместно с Германией разрабатывают новую систему, работающую в инфракрасном диапазоне спектра с разрешением 0,5 м. В Японии ведутся работы по созданию космической системы с разрешающей способностью 2,5 м. США продолжают совершенствовать и запускать ИСЗ серии «Лендсет» с разрешением 0–30 м («Лендсет-8»). Франция, вслед за СПОТ-4, предполагает запустить СПОТ-5А и СПОТ-5В с разрешением 5–10 м. В 2000 г. в космосе функционировали 20 ресурсных ИСЗ, которые вели съемку в различных зонах спектра с разрешением (для суши) от 1 до 30 м.

В 70-х и в начале 80-х годов различные страны стали конструировать и запускать на орбиту специализированные ИСЗ для исследования океана и обеспечения промышленного рыболовства. В России были выведены на орбиту ИСЗ «Океан» и ряд ИСЗ серии «Космос», оснащенные радиолокационными и многоспектральными сканирующими системами. На спутниках типа «Тайрос», «Итос», «НОАА» и других устанавливается специальная съемочная аппаратура. В частности, «Тайрос-Н» оборудован радиометрами для регистрации излучения в пяти зонах спектра в дневное и ночное время.

Материалы съемок с этих спутников должны обеспечивать прогнозирование ветров, волнения, регистрировать процессы циркуляции вод в морях и океанах, наблюдать за течениями, предсказывать возникновение и развитие штормов, регистрировать температуру поверхностных вод, оценивать условия рыболовства, а также следить за состоянием окружающей среды, особенно за загрязнением вод нефтью.

Среди множества ИСЗ, решающих исследовательские и производственные задачи, особо следует упомянуть орбитальные станции, рассчитанные на длительное время функционирования, как, например, успешно отслужившую свой многолетний срок отечественную станцию «МИР» и сменившую ее «Международную космическую станцию» («МКС») (рис. 2.5). Такие станции создаются для выполнения большого числа разнообразных программ, в том числе по съемкам и исследованиям Земли и Космоса. Отчасти они исполняют роль платформ, которые по ходу работ могут оснащаться новыми приборами и оборудованием.

Искусственные спутники Земли с момента запуска и до входа в атмосферу при посадке описывают путь, называемый *траекторией*. После разгона до скорости, необходимой для того, чтобы спутник не упал на Землю, описав баллистическую кривую, он продолжает полет по инерции, описывая вокруг Земли кривую, называемую *орбитой*. Скорость, которая придается спутнику, должна соответствовать пер-

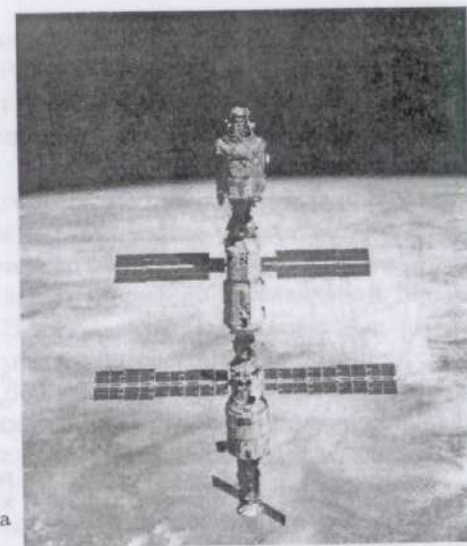


Рис. 2.5. Общий вид спутника «МКС».

вой космической, равной на уровне Земли 7,91 км/с. Однако наличие атмосферы не позволяет производить запуски ИСЗ на орбиты ниже 160–180 км. При расчетах наименьшая высота орбиты принимается равной 200 км. На этой высоте скорость вывода ИСЗ на орбиту составляет 7,79 км/с.

Орбиты ИСЗ различаются по форме, высоте, наклону к плоскости экватора и ряду других параметров. В зависимости от наклона они делятся на *экваториальные*, *наклонные* и *полярные*. Экваториальный ИСЗ вращается только над экватором. При малом угле наклона орбиты по отношению к экватору сокращается полоса земной поверхности, которая находится в поле зрения спутника. Например, съемка с американских космических кораблей «Джемини», имевших наклон орбиты около 30°, производилась только между параллелями примерно 33° северной и южной широты.

Орбиты, плоскости которых перпендикулярны плоскости экватора, проходят над полюсами и называются *полярными* или *околополярными* (квазиполярными). По полярным орбитам движутся, например, метеорологические спутники (рис. 2.6). С полярной орбиты возможна съемка поверхности всей Земли. Отечественные спутники «Метеор» запускаются на квазиполярную орбиту с углом наклона к плоскости экватора 81,2°. На околополярную орбиту с углом наклона примерно 102° выводились американские метеоспутники «Нимбус» и др.

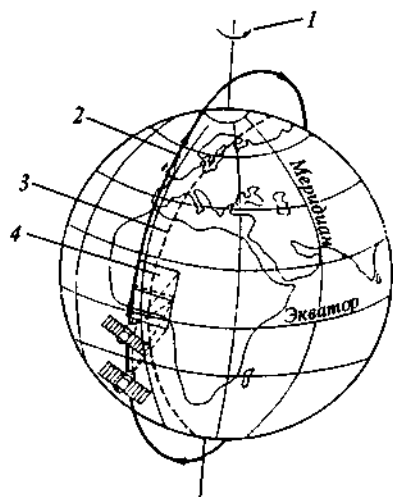


Рис. 2.6. Положение метеорологического спутника на полярной орбите. 1 — направление вращения Земли; 2 — орбита спутника; 3 — проекция траектории спутника на поверхность Земли; 4 — положение кадра в полосе съемки.

Форма орбиты может быть *круговой* и *эллиптической*. На круговую орбиту запускаются спутники, предназначенные для регулярной и сплошной съемки Земли (ресурсные и гидрометеослужбы). При съемке с круговой орбиты все снимки получаются равных масштабов с сохранением избранного перекрытия между ними. На орбиты, близкие к круговым, были выведены пилотируемые космические корабли «Союз» и американские спутники «Лендсет» и др.

Сильно вытянутую эллиптическую орбиту с высотой в апогее над Северным полушарием около 40 000 км и перигеем, близким к 500 км над Южным полушарием, имеют спутники связи, например, «Молния». Наклон ее орбиты составляет 65°. Форма орбиты и ее пространственное ориентирование обеспечивали долгий проход ИСЗ над территорией России.

Запуск спутников, предназначенных для съемки Земли, производится обычно таким образом, чтобы плоскость орбиты была постоянно направлена к Солнцу. Спутник поочередно облетывает дневную и ночную сторону Земли. Такая орбита называется *солнечносинхронной* (*гелиосинхронной*). Если произвести запуск искусственного спутника Земли в направлении движения Земли на круговую экваториальную орбиту с высотой примерно равной 36 000 км, то спутник «повиснет» на месте относительно поверхности Земли, он будет вращаться вместе с Землей, не падая на нее. Такая орбита называется *геосинхронной*, а спутник — *стационарным*.

Стационарные спутники над океанами, например АТС-6 над Тихими океаном (США), ИСЗ «Радуга» (Россия) и др., осуществляют связь между материками, ведут непрерывное наблюдение за состоянием атмосферы, обеспечивают решение геодезических и навигационных задач.

По высоте орбиты ИСЗ можно разделить на три группы. Пилотируемые космические корабли и космические орбитальные станции запускаются на орбиты с высотой до 500 км. С них ведется выборочная съемка и наблюдения отдельных территорий и акваторий. Метеорологические и ресурсные ИСЗ запускаются на орбиты с высотами 500–2000 км. Они предназначены для систематического покрытия Земли съемкой. На высоту 36 000 км выводятся ИСЗ связи, а также спутники, предназначенные для съемки и наблюдения за состоянием суши, вод и атмосферы в глобальном масштабе.

Однажды запущенный ИСЗ движется по расчетной орбите на избранной высоте с заранее определенной скоростью. Изменения параметров орбиты в полете теоретически возможны, но практически ограничены. Поэтому движение ИСЗ фактически предопределено и перед запуском следует выбрать орбиту, ее высоту и форму, а также время старта. Все это необходимо согласовать таким образом, чтобы ИСЗ проходил над интересующими районами в нужное время. При запуске нескольких спутников согласовывают параметры их орбит так, чтобы они были взаимосвязаны. Согласовывались, например, орбиты ИСЗ серии «Космос», составляющие систему «Метеор». ИСЗ, предназначенные для систематической съемки Земли, запускаются с таким расчетом, чтобы они через определенный интервал времени, например сутки, повторяли свой путь, покрывая Землю маршрут за маршрутом с некоторым перекрытием. Так, ИСЗ «Лендсет» каждые 18 суток полностью покрывал земной шар съемкой и возвращался в исходный пункт облета. Орбиты позже запущенных «Лендсет-2» и «Лендсет-3» были смещены относительно друг друга по экватору на 3240 км. Поэтому полное покрытие съемкой Земли осуществляется в два раза быстрее, а именно за 9 дней.

Полоса захвата съемкой зависит от высоты полета ИСЗ, фокусного расстояния космического фотоаппарата или параметров съемочной системы. Все новые ИСЗ имеют возможность увеличить полосу захвата и получать стереоизображения за счет отклонения аппаратуры назад-вперед вдоль трассы полета или поперек трассы, покрывая отчасти полосу съемки соседнего витка трассы. Так, например, полоса захвата съемкой у первого ИСЗ СПОТ составляла 60 км, но камера могла

поворачиваться на 26° с помощью зеркал, что позволяло получать стереоснимки и снимать территорию на удалении от трассы полета до 400 км. Период повторного покрытия участка съемкой составлял 26 суток, но, используя поворот зеркал, время полного покрытия Земли можно было свести к 2,5 суток.

2.4. СЪЕМОЧНЫЕ СИСТЕМЫ И ВИДЫ СЪЕМОК

С развитием аэрокосмических съемок технические средства и способы съемки стали особенно разнообразными и непрерывно совершенствуются. Классифицируя бортовые съемочные системы, Г. В. Гонин выделил семь типов.

К *первой группе относятся фотографические системы, аэро- и космические фотоаппараты*, обязательно имеющие объектив с затвором, диафрагмой, устройством компенсации сдвига изображения, автоматическим регулированием экспозиции и гироскопической установкой для поддержания оптической оси аппарата в положении, максимально приближающемся к вертикальному. Съемка ведется на фотопленку, чувствительную к видимой части спектра и ближайшей инфракрасной. По конструкции различаются фотоаппараты, предназначенные для ведения съемки кадровой, панорамной, щелевой. Применяются главным образом кадровые аппараты. Щелевые фотоаппараты ведут съемку через щелевую диафрагму на непрерывнодвигающуюся пленку и снимок получается в виде полосы. Таким снимкам присущи особые геометрические свойства.

Фотографическая съемка является самой распространенной, обеспечивающей материалами съемок топографическое и другие виды картографирования, а также географические, экологические, геологические исследования и производственные изыскания. Поэтому этот вид съемки далее рассмотрим отдельно и достаточно подробно.

Вторая группа — телевизионные аппараты. Каждый из них включает в себя блок и электронно-лучевую трубку (ЭЛТ). Изображение с помощью оптической системы проецируется на фотомишень: видикон или фотокатод диссектора. На видиконе накапливаются электрические сигналы, пропорциональные яркости элементов изображения. Создается так называемый потенциальный «рельеф». Заряды считываются пучком электронов, при этом каждый пучок электронов в соответствии с зарядом элемента изображения модулирует свой сигнал.

Сигнал с фотомишени поступает либо непосредственно в электронную систему обработки сигналов, в *видиконах с прямым ходом лучей*,

либо пучок электронов после взаимодействия с фотомишенью возвращается по пути прямого луча и далее подается в электронную систему обработки, как это происходит в *видиконах с обратным ходом лучей*. В последнем случае достигается большая чувствительность системы и более высокое разрешение.

Дисектор представляет собой телевизионную трубку. При освещении через объектив фотокатод испускает фотоэлектроны, плотность которых в каждом элементе пропорциональна освещенности. Возникающее электронное «изображение» переносится на электронный умножитель. Далее сигнал поступает в систему обработки. Диссекторы обладают невысокой чувствительностью, но большой разрешающей способностью.

Телевизионная съемка по форме является кадровой, но по существу это съемка сканирующей системой. Особенность только в том, что сканированию подвергается скрытое изображение на ЭЛТ в плоскости изображения. Как и фотография, телевизионная съемка ведется в видимой и ближайшей инфракрасной частях спектра от 400 до 1000 м.

Кадровые телевизионные системы широко использовались на первых ИСЗ для съемки Земли. Они продолжают использоваться для съемок с межпланетных кораблей других планет и их спутников. Видиконовые телевизионные камеры с различными фокусными расстояниями были установлены, например, на автоматических межпланетных станциях «Викинг-1» и «Викинг-2» (США), снимавших планету Марс.

В отечественной практике при съемке Земли со станции «Салют-6» использовался видеокomплекс «Нива» как средство документации визуальных наблюдений. Видиконовая телевизионная система с обратным ходом лучей была установлена на американских ИСЗ «Лендсет-1, 2, 3». Видиконовая телевизионная система установлена также на борту индийского ИСЗ «Бхаскара». Разрешение на местности эти системы обеспечивали по меркам настоящего времени невысокие: «Лендсет» — 70–35 м, «Бхаскара» — 1000 м.

Третья группа — многоспектральные сканирующие устройства малого и среднего разрешения, соответственно называемые МСУ-М и МСУ-С. Эти наиболее перспективные устройства подвергались и подвергаются систематическому усовершенствованию и модернизации.

При оптико-механическом сканировании местности в отличие от фотографической и телевизионной съемки, где с помощью оптической

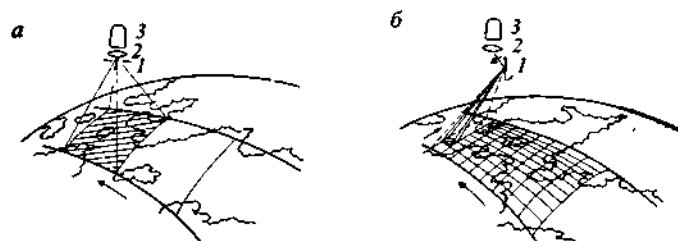


Рис. 2.7. Схема телевизионной космической съемки облачности. а — покадровая съемка: 1 — затвор; 2 — объектив; 3 — передающая ТВ камера; б — поэлементная (сканирующая) съемка: 1 — качающееся (вращающееся) зеркало; 2 — объектив; 3 — фотоумножитель.

системы (объектива) формируется все изображение в рамках будущего кадра, фиксируется сигнал в пределах мгновенного очень малого угла зрения. Этот угол зрения представляется как луч сканирования, который скользит по земной поверхности, образуя либо плоскость, либо конус (рис. 2.7).

Оптико-механические сканеры включают в себя оптическую систему и приемник сигналов. Оптической системой является зеркальный объектив типа рефлектора с очень малым углом зрения. В систему входит также устройство, отклоняющее сканирующий луч по заданной траектории. Детектором, воспринимающим оптический луч, служат разные приемники, отличающиеся друг от друга чувствительностью к разным лучам спектра. Детекторы преобразуют поступающий из оптической системы сигнал в электрический. Они изготавливаются из различных полупроводников: кремния, сульфида свинца, германия и др. Способность возбуждать электрический сигнал под влиянием света охватывает всю область спектра от видимого участка до дальнего инфракрасного.

В каждый момент на светочувствительный элемент проецируется малый участок местности, составляющий единичный элемент будущего изображения. Фотоэлемент регистрирует среднюю интенсивность излучения с поверхности элементарного участка. Изображение в целом получается путем последовательного просмотра или сканирования полосы местности (или одновременно нескольких полос). Само сканирование осуществляется качанием приемной головки (оптической системы) или поворотом зеркала, отбрасывающего изображение в объектив, или вращением всего спутника. Все изображение образуется за счет перемещения летательного аппарата вдоль трассы, в результа-

те чего происходит последовательное присоединение строк, создающее изображение в целом.

Оптико-механические сканеры МСУ-М, МСУ-С, затем МСУ-СК (К — коническая развертка) устанавливались на отечественных ИСЗ типа «Метеор», «Метеор-природа», «Космос», запускаемые на высоты 650 км. Каждая из установок вела съемку в четырех зонах спектра: 0,5–0,6; 0,6–0,7; 0,7–0,8 и 0,8–1,0 мкм. На ИСЗ «Космос-1689» установлен МКС-СК с тепловым каналом в области 10,3–12,8 мкм. В 1980 г. на ИСЗ «Метеор-30» была установлена экспериментальная система «Фрагмент», производившая съемку в восьми каналах, в диапазоне спектра от 0,4 до 2,4 мкм. Разрешение на местности (в м) соответственно по всем четырем системам равнялась: 1000×1700; 140×240; 170×240; и 80×480. Для «Фрагмента» разрешение зависело от канала съемки.

Современные зарубежные оптико-механические сканеры представлены разнообразными системами:

— Камера МСС, установленная на первых американских ИСЗ «Лендсет». С высоты 900–700 км камера вела съемку в масштабе 1:1200 000 в пяти зонах спектра с разрешением 80 м для первых четырех каналов и 240 м для пятого.

— Камера ТМ (тематический картограф), установленная на борту ИСЗ «Лендсет-4,5», вела съемку в масштабах 1:150 000 для первого-пятого и седьмого каналов и 1:600 000 — для шестого канала. Разрешение камеры составляло 30 м также для первых пяти каналов и 120 м для шестого. Спектральные диапазоны выбирались с расчетом получить снимки с повышенной дешифрируемостью определенных объектов. Так, например, камера ТМ, предназначавшаяся для ИСЗ «Лендсет-4», работала в таких диапазонах спектра, которые улучшили бы идентификацию растительного покрова и сельскохозяйственных культур:

0,45–0,52 мкм (синий) для дифференцирования (различения) хвойных пород леса. Кроме того, излучение в этом диапазоне в определенной мере проникает сквозь толщу воды;

0,52–0,60 мкм (зеленый) для регистрации зеленой растительности. Это излучение также проникает сквозь толщу воды;

0,63–0,69 мкм (красный) для дополнительной информации о растительном покрове излучения этого диапазона проникает сквозь дымку;

0,76–0,90 мкм (инфракрасный) для различения растительного покрова, поскольку в нем отражательная способность растений максимальная;

1,55–1,75 мкм (инфракрасный) для распознавания горных пород и грунтов, а также обнаружения заболеваний, увядания растений. Однако в этом диапазоне не различаются облака, лед, снег;

10,4–12,5 мкм (инфракрасный) для регистрации теплового излучения земных объектов, обнаружения геотермальных источников и др.

Оптико-механические системы устанавливались на борту ИСЗ «Нимбус-7» и «НОАА 6-9». С орбиты высотой 850–900 км они вели съемку в масштабе 1:5000 000 с разрешением около 1000 м в пяти или шести зонах спектра в целях океанологии и метеорологии. Такие системы могут быть использованы и для изучения растительности.

Оптико-механическими сканерами оснащались также геостационарные ИСЗ, запускаемые на орбиту высотой 36 000 км. Они вели съемку преимущественно в метеорологических целях в двух диапазонах спектра: видимой части и инфракрасной. Сканирование производится путем вращения спутника и перемещения луча по строке. Такую съемку земного диска или его части ведут ИСЗ серии «Метеосат», ГОЕС и др. Два диапазона регистрации излучения позволяют вести съемку, главным образом облачного покрова, и днем, и ночью.

Кроме сканерных систем, предназначенных для съемок одновременно во многих зонах спектра, в видимом, а также в инфракрасном (тепловом) диапазоне, создавались и создаются системы специально для тепловой съемки в ближнем, среднем и дальнем ИК-диапазоне — это так называемые *тепловизоры*, составляющие *четвертую группу* бортовых систем.

Отечественный тепловизор «Вулкан» включает в себя сканирующую оптико-механическую систему, осуществляющую развертку луча перпендикулярно линии движения самолета или ИСЗ с помощью вращающегося зеркала. Приемниками излучения служат фотоэлектрический приемник-радиометр, содержащий полупроводниковые пластины. Холодильная установка с жидким азотом или другим инертным газом, необходимая и при работе в космосе, охлаждает всю систему с тем, чтобы регистрировалось даже очень слабое тепловое излучение поверхности Земли. Блок усиления и преобразования фильтрует шумы, усиливает сигнал. Регистрирующая система записывает скрытое изображение на фото пленку, или магнитную пленку, или воспроизводит на мониторе.

Из известных зарубежных систем следует упомянуть тепловизор шведской фирмы АГА модель 780, работающий в каналах 3–5 и 8–14 мкм. Пороговая чувствительность тепловизора в диапазоне 3–6 мкм — 0,5–1,0° С.

Геометрическое разрешение тепловых снимков практически невелико. Хотя известно, например, что современный тепловизор (ИК-сканер «Малахит») при высоте полета 200 м обеспечивает в полосе обзора 120° регистрацию тепловых контрастов в 0,1К, создавая на экране монитора изображение с разрешением 0,3 м.

Тепловая съемка ведется в длинноволновой зоне оптического части спектра. Источником инфракрасного излучения является земная и водная поверхность, нагретая или Солнцем, или внутренним теплом Земли, или искусственными источниками тепла. Прямой нагрев земной поверхности и ее тепловое излучение зависят от физических свойств подстилающей поверхности и связано также с рельефом, ориентацией и крутизной склонов, общей увлажненностью, состоянием атмосферы.

Нагревание и остывание различных участков земной поверхности происходит неравномерно. Так, например, днем и вечером долины нагреваются больше, чем вершины гор, но также быстро остывают, и в конце ночи становятся холоднее вершин и хребтов. Соответственно меняется и соотношение тонов на тепловых снимках. Регулярная инфракрасная съемка дает возможность наблюдать распределение облачности на теневой стороне Земли, обнаруживать лесные пожары, фиксировать загрязнение водоемов теплыми сточными водами и др.

Тепловая съемка Земли может производиться в зоне спектра от 0,8 до 30,0 мкм. В этом диапазоне есть несколько окон прозрачности (рис. 2.8), в которых тепловое излучение практически не поглощается атмосферой, но существуют участки спектра, в которых происходит сильное поглощение атмосферой. Кроме этого влияние на съемку оказывает тепловое излучение самой атмосферы. Поэтому в зависимости от того, какой участок инфракрасной зоны спектра регистрируется во время съемки и как широк этот участок, результаты тепловой съемки будут различными.

Можно выбрать несколько участков ИК зоны:

0,8–3 мкм — зоны отражения солнечного излучения. В области 0,8–1,2 мкм возможно обычное фотографирование на специально чувствительной пленке «инфрахром»;

3,0–5,0 мкм — окно прозрачности, в котором фиксируется температура земной поверхности и облачного покрова;

6,4–7,0 мкм — атмосферные помехи. Регистрируется концентрация водяного пара в атмосфере;

8–14 мкм — окно прозрачности. ИК съемка регистрирует интенсивность теплового излучения земной поверхности;

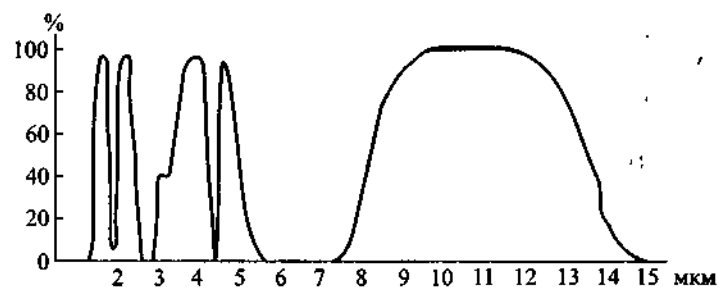


Рис. 2.8. Тепловое излучение Земли, пропущенное атмосферой.

14–16 мкм — регистрируется тепловое излучение окиси углерода (CO_2) в атмосфере;

9–30 мкм — регистрируется полное излучение земной поверхности и атмосферы — тепловой баланс Земли.

Практически для съемки Земли используются два окна прозрачности 3–5 мкм и 8–12 мкм или 10–14 мкм. На американских метеорологических спутниках использовался участок спектра 3,5–4 мкм. Этот диапазон годится только для ночной съемки, так как слишком близок к видимой части спектра, и в дневное время солнечная радиация вносит помехи. На отечественных метеоспутниках серии «Метеор» инфракрасная аппаратура ведет съемку в ночное и дневное время в диапазоне 8–12 мкм. В дневное время, особенно в утренние часы, хорошо подчеркивается различие в нагреве разных склонов. Ночью, кроме того, сохраняется хорошая различимость территорий, температура которых связана с подогревом внутренним теплом Земли.

Пятая группа бортовых съемочных систем — оптико-электронные сканеры, использующие в качестве приемников приборы с зарядовой связью (ПЗС). ПЗС представляют собой фотонные детекторы в виде матрицы или только ее части — «линейки», включающие в себя множество микроскопических кремниевых фотоэлементов, являющихся приемниками изображения. Размеры матрицы могут быть различными от 500×700 до 1000×1500 элементов, но бывает и больше и меньше. Диапазон чувствительности — 0,4–1,0 мкм.

Оптическая система состоит из линзового объектива с обычным фотографическим затвором. Она строит мгновенное изображение по полю матрицы или в пределах линейки. На каждый детектор в зависимости от яркости элементарных участков изображения поступает свой сигнал. Пропорционально яркости падающего света каждый де-

тектор генерирует электрический ток. Этот сигнал затем поступает в электронный блок.

Если съемка ведется на матрицы ПЗС, то изображение экспонируется через объектив с определенной выдержкой на всем кадре сразу. Геометрически получаемое изображение строится в центральной проекции и является полным подобием обычной фотографии. Если же используется линейка ПЗС, то изображение строится последовательно, строка за строкой, путем последовательного присоединения строки к строке. В этом случае затвор объектива отсутствует. Сканирование осуществляется за счет перемещения летательного аппарата вдоль трассы.

Первая отечественная оптико-электронная установка МСУ-Э была опробована на ИСЗ «Космос 1939» в 1980 г. Съемка велась в трех зонах спектра с разрешением 40 м. Число пикселей (элементов) в строке составляло 1000 единиц.

В 1983 и 1984 гг. во время полета космического корабля «Челенджер» был испытан американский сканер МОМС. В 1986 г. был запущен французский ИСЗ СПОТ. Съемка велась в трех спектральных зонах: зеленой, красной, инфракрасной и одной панхроматической зоне. Разрешение для четвертой зоны составило 10 м, для первых трех — 20 м, число элементов в строке составило 1728, размер одного элемента 13 мкм.

Опыт съемок на ПЗС матрицах привел к развитию так называемой «цифровой» аэрокосмической съемки. Для этой цели используется цифровая фотокамера, в которой цветное оптическое изображение фиксируется не на фотопленке, а на матрице приемников с зарядовой связью и записывается на мини-винчестер, встроенный в камеру. Далее, с помощью кабеля информация загружается в компьютер, в котором имеется соответствующее программное обеспечение, где и выполняется ее необходимая обработка, включая вывод, визуализацию изображения на цветном принтере.

Программное обеспечение позволяет произвести трансформирование снимков по элементам внешнего ориентирования. Кроме того, возможно измерение площадей выделенных контуров и длин их сторон. Дешифрование возможно прямо на экране монитора в режиме диалога дешифровщика и компьютера с одновременной фильтрацией и преобразованием изображения.

Цифровая съемка особенно эффективна при оперативном использовании материалов съемки в ходе аэрокосмического мониторинга. Если на борту летательного аппарата имеется портативный компьютер

и цветной принтер, работа по дешифрированию изображений может проводиться в реальном масштабе, т. е. одновременно со съемкой.

Цифровая съемка обеспечивает также в оптимальном режиме формирование банков данных для создания и обеспечения геоинформационных систем (ГИС). Поскольку исходная съемочная информация с момента ее получения уже находится в цифровом виде, исключаются промежуточные операции по фотографической обработке материалов аэрокосмических съемок и по их записи в цифровой форме на магнитные носители.

Шестая группа бортовой аппаратуры — микроволновые (СВЧ) радиометры. В этом виде съемки, называемом также радиотепловым, пассивно регистрируется радиотепловое излучение земной поверхности с длинами волн около 1–700 мм. Сигналы, принимаемые антенной, воспроизводятся в электронно-лучевой трубке и фотографически фиксируются. Различие в плотности изображения определенным образом связано с температурой излучающей поверхности и зависит от влажности, засоленности, состава почв и грунтов. На радиотепловых изображениях наибольший контраст возникает между водой и сушей, увлажненными и сухими грунтами.

Достоинством радиотепловой съемки является возможность получения информации сквозь облачный покров. Результат может быть получен в виде снимка, изображения. Однако достаточно часто съемка ведется только по профилю вдоль трассы полета самолета или ИСЗ. В сканирующих радиометрах роль приемника излучения играет направленная антенна. С нее сигнал поступает в приемник и детектор, где он переводится в электрический сигнал, который записывается на магнитную ленту и может быть визуализирован. Следует заметить, что разрешение радиотепловых систем сравнительно низкое и зависит от размеров антенны и высоты съемки. Лучшие из систем при съемке с высоты в 300 км дают разрешение не менее 3 км. Тепловое разрешение от 1К до 10–20 К.

Области применения радиотепловой съемки — зондирование океанов с целью определения температуры и солености вод, состояния поверхности моря, льдов на воде и нефтяного загрязнения, дешифрирование почв и растительности (преимущественно их влагосодержания).

СВЧ-радиометры стали использовать, начиная с 1968 г., когда они были установлены на ИСЗ «Космос-243». Сканирующие радиометры появились в 1972 г., начиная с полета американского ИСЗ «Нимбус-5». Затем последовали более совершенные системы, в том числе радио-

метр РС-0,8 со сканированием на длине волны 0,8 см (установленный на ИСЗ «Космос-1500»).

СВЧ-радиометры устанавливались на ИСЗ «Метеор» для определения влагосодержания в атмосфере, выделения зон выпадения осадков, определения границ ледяного покрова. Аналогичные установки были на ИСЗ «Космос-1076», «Космос-1151», «Космос-1500» и ИСЗ «Метеор-природа».

В США радиометры устанавливались, например, на ИСЗ «Нимбус-5» для определения концентрации водяного пара и жидкой воды в атмосфере, а также измерения температурного поля атмосферы и наблюдения за морским льдом. Затем такую же съемку производили с ИСЗ «Нимбус-7» и «Сиесет-А».

Седьмая группа бортовых систем представлена радиолокационными системами. Радиолокаторы достаточно широко используются в воздушной и космической навигации в качестве высотомеров, позволяющих определять высоту полета при съемке, а также, например, высоту древесного покрова и др. Радиовысотомеры (РВ) на ИСЗ, например американских космических кораблях и станциях «Скайлэб» (1973), ГЕОС (1975) и «Сиесет» (1978), измеряли высоту полета ИСЗ по трассе с точностью около 5 см, что позволило измерять высоты морских и океанических волн, а также использовались при определении фигуры геоида.

Для решения задач исследования природных ресурсов Земли используются радиолокационные станции бокового обзора (РЛСБО). Радиолокационная съемка производится в зоне электромагнитного спектра с длинами волн от нескольких миллиметров до метров. Это активный метод съемки, ее принцип заключается в зондировании местности лучом радара и регистрации отраженного сигнала. Радиолокационная система БО состоит из антенны, приемно-передающей радиостанции, электронно-лучевой трубки (кинескопа) и фотографирующего устройства. С помощью передатчика и антенны местность облучается периодически электромагнитными импульсами определенной частоты. Отраженный сигнал принимается на ту же антенну приемником и поступает в электронный блок обработки. Специальное устройство — антенный коммутатор — последовательно переключает антенны на излучение и прием (рис. 2.9).

Отраженные от поверхности Земли радиоволны воспроизводятся в электронно-лучевой трубке в виде одной строки. Яркость строки в разных частях зависит от интенсивности отраженного сигнала и, следовательно, от физических свойств отражающей поверхности. Изоб-

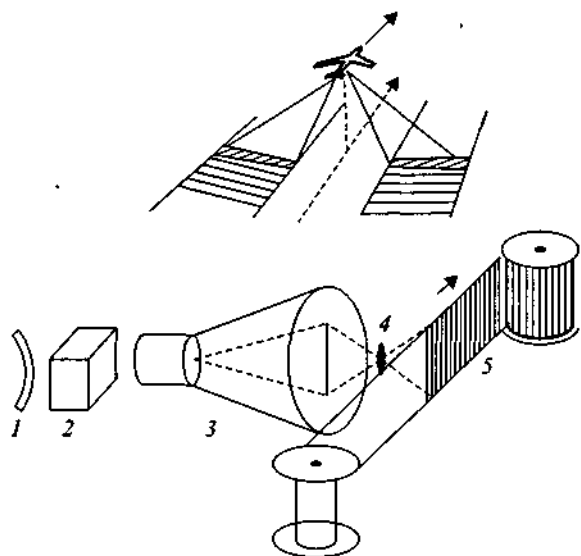


Рис 2 9 Схема радиолокационной съемки 1 — антенна, 2 — приемник-передатчик, 3 — электронно-лучевая трубка, 4, 5 — фото-регистрирующее устройство

ражение каждой строки последовательно фиксируется на непрерывно движущейся фотопленке; получается полоса изображения или две полосы по обеим сторонам трассы полета, если съемка ведется с двух бортов самолета.

Радиолокационные снимки обладают специфическим свойством — их разрешение не зависит от расстояния до объекта и длины волны. С другой стороны, разрешение изображения в целом поперек маршрута съемки много выше, чем вдоль маршрута. Разрешение можно улучшить, только увеличивая размер антенны. Однако самолеты или спутники сами имеют ограниченные размеры. Но, используя движение летательного аппарата, можно создать длинную, как бы составную, или синтезированную антенну. Таким образом, РЛСБО может быть с реальной апертурой и синтезированной апертурой.

Среди отечественных радиолокационных систем для космических съемок морей и океанов с высоким разрешением хорошие результаты показал радиолокатор с синтезированной апертурой (РСА), который в 1991–1992 гг. был установлен на космическом аппарате «АЛМАЗ-1».

В отечественной практике аэрофотосъемки используется РЛСБО система «Торос». При высоте съемки 4,5 км она обеспечивает ширину полосы съемки в 13,5 км в масштабе 1:90 000 (или 1:180 000).

Для радиолокационного облучения могут быть использованы сигналы, различающиеся длинами волн, шириной полосы излучаемых сигналов и поляризацией сигналов. Характер получаемых изображений при этом изменяется, и иными становятся их дешифровочные возможности.

Создана разновидность радара, позволяющая измерять энергию обратного рассеяния при разных углах падения радиолуча. Такой радар называется *скаттерометром*. С его помощью получают данные в виде графиков-индикатрисс отраженной энергии, позволяющих оценивать строение, рельеф поверхности, в том числе морское волнение.

Особенность радиолокационной съемки, во-первых, в возможности работать как днем, так и ночью, в любую облачную погоду. Во-вторых, излучение проникает в подстилающую поверхность на некоторую глубину. Так, например, радиолокационная съемка с корабля «Шаттл» проникала на 1 метр в песчаный грунт и на 3 метра в сухие лесовые покрытия и дюны. Теоретически проникание радиоволны возможно до 5 метров. Эта особенность РЛ съемки используется для обнаружения погребенных объектов, например, эрозионной сети, разломов, древних построек, поселений, для проникновения в глубину лесовых покровов и др.

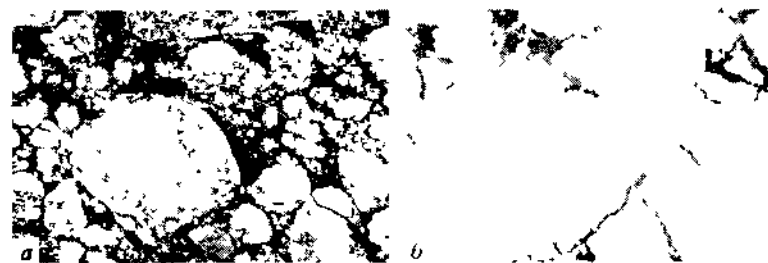


Рис 2 10 Снимок полярных льдов а — радиолокационный, б — фотографический

Отечественные радиолокационные аэросъемки начались в семидесятых-восьмидесятых годах; съемки из космоса впервые проделаны в 1983 г. с ИСЗ «Космос», затем «Космос-1602». Особенно успешно были проведены съемки РЛС системами БО поверхности Венеры отечественными космическими аппаратами «Венера-15» и «Венера-16». В 1978 г. американский ИСЗ «Сиесет-А» производил радиолокационные съемки в целях изучения океана с разрешением 25 м. На космическом корабле «Шаттл» («Колумбия») радиолокационные съемки произво-

дились для геологических и других исследований. В табл. 2.2 показано разрешение снимков, полученных разными космическими системами.

В настоящее время на орбите работают европейские радиолокационные спутники ERS-1 и ERS-2, а также канадский «РАДАРСАТ».

Таблица 2.2. Разрешение космических снимков в видимом диапазоне спектра

Спутники	Съемочные системы	Масштабы снимков	Разрешение на местности
Фотографические снимки			
Салют	КАТЭ-140	1 2 400 000	60
Салют	МКФ-6	1 2 000 000	20
Ресурс Ф	КАТЭ-200	1.1 000 000	20
Ресурс Ф	МК-4	1.600 000	10
Ресурс Ф	КФА-1000	1.200 000	5
Комета	КВР-1800	1 220 000	2
Сканерные снимки			
Метеор	МСУ-М	1 12 000 000	1700
Метеор	МСУ-С	1.2 500 000	30
Метеор	Фрагмент	1 500 000	85
Ресурс О	МСУ-СК	1.2 500 000	85
Лендсет	МСС	1.1 000 000	80
Лендсет	КТМ	1.1 000 000	30(15, с 1999 г.)
Многоэлементные ПЗС-снимки			
Ресурс О	МСУ-Э	1.200 000	45(28, с 1999 г.)
СПОТ-5		1.100 000	5

Рассмотренные выше шесть типов бортовых съемочных систем необходимо дополнить некоторыми видами съемок, производящими ся аппаратами особой конструкции.

По мере совершенствования технических средств развивается *лазерная съемка*. Она возможна в нескольких вариантах. Во-первых, как активная тепловая съемка с использованием сканирующего луча лазера (лидара) и инфракрасного приемника. Впрочем, регистрироваться может и более широкая полоса обратного излучения: от ультрафиолетовой до ближайшей инфракрасной зоны.

Во-вторых, лазер может быть использован для дальномерной съемки, в результате которой получается картина рельефа местности. Создана система, в которой лазер с большой скоростью сканирует местность, облучая ее под некоторым углом вперед и поперек направле-

ния полета самолета. Отраженные сигналы регистрируются приемным устройством, которое отсекает те их них, которые относятся к одному и тому же времени, или, что то же самое, к одной и той же дальности, или к точкам с одной и той же высотой. Сигналы регистрируются на непрерывно движущейся ленте фотопленки, на которой получается рисунок горизонталей. Результат съемки может фиксироваться также в виде рельефной модели местности. Известны также опыты по сканированию дна водных объектов с изображением рельефа на некоторых глубинах. Импульсный лидар «Макрель» успешно опробован в промысловой океанологии.

Интерес представляют возможности *голографической съемки* рельефа местности с получением объемной голографической картины. Такая система еще не реализована полностью, но способы измерений голограммы исследованы. По аналогии с фотограмметрией создана голограмметрия, или измерительная голография, изучающая способы определения размеров и пространственного положения объектов путем измерения их голографических изображений.

Сущность голографической съемки состоит в следующем. Объект, голограмму которого нужно получить, освещается лазерным пучком света. Отраженная световая волна попадает на фотопластинку. На ту же пластинку попадает часть света, отраженная зеркалом. Это так называемый опорный пучок света. Фотопластина проявляется, и полученная таким образом «картина» называется голограммой. Внешне голограмма почти не отличается от равномерно засвеченной пластинки, но в ней записана информация об образе объекта.

Для того чтобы восстановить изображение, голограмму облучают лазерным пучком света. При этом через голограмму, как через некое «окошко», можно наблюдать объемное (и даже цветное) изображение объекта. Кроме этого изображения, которое называется мнимым, существует и другое — действительное изображение, располагаемое по другую сторону от голограммы.

Ультрафиолетовая съемка существует в двух вариантах. В ультрафиолетовой части спектра, ближайшей к видимой, возможно обычное фотографирование, но только через кварцевый объектив, так как простое стекло не пропускает ультрафиолетовые лучи. Другой вариант — так называемая *люминисцентная съемка*, основанная на том, что некоторые горные породы под влиянием ультрафиолетового облучения с длиной волны 0,1–0,4 мкм начинают с разной интенсивностью светиться. Это свечение может регистрироваться на экране приемника и фотографироваться. Такая съемка возможна только ночью.

Существенно ограничивает ее возможности сильное поглощение ультрафиолетовой радиации атмосферой. По этой же причине, а также из-за низкого уровня естественного излучения, не используется съемка в рентгеновских лучах.

Спектрометрическая съемка позволяет получать с высокой детальностью данные о спектральных отражательных или излучательных свойствах объектов. Они необходимы для получения достоверных корреляционных связей между характером объекта и его яркостью по спектру. Анализ содержания снимков, снятых в различных узких зонах спектра без знания спектров отражения объектов, становится ненадежным. С другой стороны, знание отражательных способностей местных объектов позволяет обоснованно выбирать, например, материалы для фотосъемок. Спектральная кривая яркости становится чем-то вроде «визитной карточки» каждого объекта и существенно повышает надежность дешифрирования снимков.

Спектрометрическая съемка дискретно от участка к участку местности производится с летательных аппаратов летными спектрометрами или спектровизорами, с орбитальных станций ручными спектрографами (спектрорадиометрами). Результат спектрометрической съемки получается в виде кривых (графиков) хода яркости по спектру — регистрограммы либо сразу на экране электронно-лучевой трубки, либо после обработки.

Спектрометрирование возможно в разных диапазонах оптической части спектра, но производится, прежде всего, по всей видимой части спектра. При спектрометрической съемке из космоса существенным препятствием становится атмосфера, которая рассеивает солнечную радиацию и ослабляет отраженное земной поверхностью излучение, искажая тем самым получаемые данные. Чтобы учесть искажающее влияние атмосферы, нужно знать ее оптические характеристики. Для их определения организуются, в частности, совмещенные спектрометрические съемки одной и той же территории с самолетов и спутников.

Непрерывная *телефотометрическая съемка* производится зональным телефотометром, регистрирующим одну, широкую или узкую, зону спектра, например, в видимой части спектра. В результате получается график-регистрограмма, или кривая хода яркостей, на которой запечатлен как бы фотометрический профиль местности. Непрерывная съемка может быть одномерной, выполняемой вдоль линии полета, или двухмерной, в которой производится не только запись вдоль трассы, но и развертка поперек линии полета. Результат та-

кой съемки может быть представлен в виде изображения, аналогично тому, как это делается в сканирующих телевизионных камерах.

Несколько особняком стоит группа *геофизических съемок*, которая включает в себя съемку магнитного, электрического и гравитационного полей Земли и гамма-излучения. По существу они также построены на использовании фотоэлектронной техники, но имеют сравнительно узкую область применения — поиск полезных ископаемых — и развились как методы геологической разведки. В настоящее время некоторые из геофизических способов съемки стали применяться для наблюдения за экологическим состоянием природы.

Особенность этих видов съемки — малая разрешающая способность. Например, самая распространенная из них — магнитная съемка — производится с высот 300–400 м. Для получения общей картины магнитного поля съемочные маршруты длиной до 400 км прокладывают параллельно друг к другу, таким образом, как бы «сканируя» объект съемки.

Наконец, следует упомянуть так называемую *абсорбционную съемку* (спектрометрию). Это дистанционный метод индикации (определения) загрязненности атмосферы с самолетов или вертолетов. Ее можно определить как «регистрацию запахов», и поэтому отнести к разряду геохимических. Материалы абсорбционной съемки помогают установить характер и интенсивность источников загрязнения атмосферы: бумажно-целлюлозных комбинатов, металлургических заводов, химических, нефтеперерабатывающих предприятий и др. Она является также методом разведки полезных ископаемых: мышьяка, кадмия, цинка, ртути, регистрируя наличие соответствующих руд. И, наконец, обнаруживает проявления вулканической деятельности, участки выделения природного газа и др.

Дальнейшее развитие съемочной техники, как отмечают ведущие специалисты в области аэрокосмических методов исследования Земли (Ю. Ф. Книжников, В. И. Кравцова и др.), связано, во-первых, с выходом на передний план цифровой съемки, которая потеснит фотографию, во-вторых, с повышением геометрического и спектрального разрешения снимков, в-третьих, с развитием радиолокационной съемки, что даст новую интересную информацию наукам о Земле.

2.5. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

Современные фотографические аппараты для воздушной (АФА) и космической (КФА) съемки представляют собой сложные системы, рассчитанные для съемок с различных высот в условиях больших механических нагрузок, перепадов температуры и влажности и др. Размеры и вес технических фотоаппаратов могут быть близки к любительским камерам, но чаще превышают их в десятки раз. Существует большое количество типов АФА и КФА, различающихся между собой параметрами объективов, сложностью механических и оптических систем, принципами работы, используемыми фотоматериалами, размерами кадра и другими показателями.

По назначению АФА делятся на *топографические* и *специальные*. Топографические предназначены для аэросъемок с целью создания топографических карт и дают снимки с высокими измерительными свойствами. Аэрофотоаппараты специального назначения менее точны, но более разнообразны по конструкции и порой проще в обслуживании. С их помощью получают снимки для решения научно-исследовательских задач в области географии, геологии, экологии и для обеспечения проектов и мероприятий природопользования.

Оптическая система фотоаппаратов включает прежде всего объектив, а также светофильтры, затенители, иногда призмы и зеркала. *Фотографическим объективом* называется оптическая система, дающая действительное изображение фотографируемого объекта. *Объектив* представляет собой набор линз, который рассчитывается и подбирается таким образом, чтобы он давал изображение с минимумом искажений. Главными характеристиками объективов являются фокусное расстояние, угол поля зрения, относительное отверстие и светосила, разрешающая способность, ортоскопичность, светопропускание и светораспределение.

В фотоаппаратах устанавливаются объективы с различными фокусными расстояниями. Чаще всего применяют объективы типа «Руссар» конструкции М. М. Русинова с фокусными расстояниями от 36 до 1000 мм. Объективы с фокусным расстоянием 100 мм и меньше называются *короткофокусными*. Они позволяют получать снимки, пригодные для высокоточной рисовки рельефа равнинной и холмистой местности, и широко применяются в аэрофототопографии. Объективы с фокусным расстоянием 200 мм и более относятся к *длиннофокусным*. Такие объективы используются для аэрофотосъемок горных районов, так как дают сравнительно малые искажения из-за влияния рельефа.

Длиннофокусные объективы с фокусным расстоянием более 500 мм относятся к разряду *телеобъективов*, они удобны для съемки с очень больших высот и в крупных масштабах.

С фокусным расстоянием связан угол поля зрения объектива. *Поле зрения* называется тот световой круг, который создает объектив на большом экране. *Углом поля зрения* 2σ называется угол, образованный лучами, соединяющими объектив с краями поля изображения (рис. 2.10). Угол поля зрения объектива тем больше, чем меньше фокусное расстояние. В пределы поля зрения объектива вписывается квадрат кадра, который обычно располагается в центральной, наиболее резкой части изображения. Угол между направлениями на углы кадра составляет *угол поля изображения* 2β .

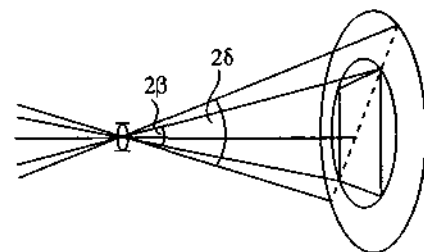


Рис. 2.11. Угол поля зрения объектива 2β и угол поля изображения 2σ

В зависимости от величины угла поля зрения все объективы делятся на четыре группы: узкоугольные ($2\sigma < 50^\circ$), нормальные ($50^\circ < 2\sigma < 90^\circ$), широкоугольные ($90^\circ < 2\sigma < 110^\circ$), сверхширокоугольные ($2\sigma > 110^\circ$).

Относительным отверстием $\frac{1}{n}$ называется отношение диаметра входного зрачка объектива d к фокусному расстоянию f

$$\frac{1}{n} = \frac{d}{f} = 1 : \frac{f}{d}.$$

Величина относительного отверстия определяет яркость получаемого оптического изображения. Для того чтобы сравнивать объективы, введено понятие *светосилы объектива*, которое равно квадрату относительного отверстия $\left(\frac{f}{d}\right)^2$. По величине относительного отверстия объективы делятся на сверхсветосильные, светосильные, нормальные и малосветосильные. Основные аэрокосмические фотоаппараты имеют относительное отверстие 1:6,3 — 1:6,8 и по светосиле относятся к нормальным.

Разрешающая способность оценивается числом раздельно различимых линий в 1 мм изображений специального тест-объекта, или миры (лин/мм, или мм^{-1}). Для короткофокусных объективов разрешающая способность колеблется от 35 мм^{-1} в центре до 12 мм^{-1} на краях изображения; для длиннофокусных объективов — от 40 мм^{-1} до 20 мм^{-1} . На разрешающую способность изображения (негатива) оказывает совместное влияние системы «объектив-фотопленка» в целом. Влияет также контрастность фотографируемого объекта. В результате разрешение реального негатива всегда ниже разрешающей способности отдельно объектива и пленки и составляет от 8 до 18 мм^{-1} . Разрешение же отпечатков (позитивов) еще ниже — $7\text{--}12 \text{ мм}^{-1}$.

Ортокоспия объективов — способность давать неискаженное изображение. Искажения возникают из-за аберраций, астигматизма и дисторсии объектива. При сферической аберрации лучи, прошедшие сквозь объектив, не пересекаются в одной точке; при хроматической аберрации лучи разного цвета пересекаются в различных точках; при астигматизме оптическое изображение строится объективом не в фокальной плоскости (плоскости негатива), а на искривленной поверхности, такое изображение невозможно сделать резким по всему полю зрения; дисторсия — искажение геометрических форм объектов в плоскости снимка. Объективы рассчитывают и конструируют таким образом, чтобы аберрации свести к минимуму. Искажение форм допускается в таких пределах, чтобы оно не сказывалось на фотограмметрических измерениях. Для объективов топографических АФА остаточная дисторсия не должна быть больше $0,02\text{--}0,03 \text{ мм}$.

Светопропускание, или прозрачность, объектива характеризуется коэффициентом прозрачности τ , который подсчитывается по формуле

$$\tau = (1 - K_a)^l (1 - K_r)^N,$$

где K_a — коэффициент поглощения света стеклом (примерно 1% на один сантиметр оптического хода луча в стекле); K_r — коэффициент отражения стекла; l — длина хода оптического луча в стекле; N — число отражающих поверхностей, соприкасающихся с воздухом.

В объективах всех назначений теряется примерно 30% света. Для повышения светопропускания делается просветление оптики. Поверхность линз покрывается пленкой, понижающей отражение света. Распределение света в фокальной плоскости объектива неравномерно, яркость оптического изображения более или менее заметно падает к краям. Относительное изменение освещенности по полю изображения вы-

ражается через косинус угла наклона лучей в степени n :

$$\frac{E_\beta}{E_0} = \cos^n \beta,$$

где E_0 — освещенность в центре кадра; E_β — освещенность на краю снимка.

Для большинства объективов падение освещенности к краям изображения пропорционально $\cos^4 \beta$, для улучшенных отечественных, как, например, для объективов серии «Руссар» — $\cos^3 \beta$. Для выравнивания светораспределения перед объективом иногда ставятся отенители — плоскопараллельные стекла, затемненные к середине и прозрачные к краям.

По числу объективов АФА делятся на *однообъективные* и *многообъективные*. Первый отечественный многообъективный аэрофотоаппарат был сконструирован Ф. В. Дробышевым в 1932 г. Аэрофотоаппарат имел девять объективов, один из которых был приспособлен для плановой съемки (в центре), а восемь остальных занимали наклонное положение и давали перспективные снимки. Путем развертки краевых снимков в плановые получали агрегатные снимки в виде восьмиугольников. Аэрофотоаппараты подобного типа были затем вытеснены другими, снабженными одним объективом с большим углом поля зрения. Но многообъективные АФА продолжали использовать в некоторых зарубежных странах (Канада и др.)

Различаются АФА, работающие на фотопленке и фотопластинках. У нас в стране конструируются и используются пленочные аэрофотоаппараты. Они компактнее пластиночных, не так тяжелы, не боятся ударов и встрясок. Пластиночные АФА употреблялись в ряде зарубежных стран (Франция и др.). Их преимущество перед пленочными заключается в очень высокой точности фотоизображения, что особенно важно при аэрофотопографической съемке. Основные характеристики новейших АФА приведены в табл. 2.3.

Аэрофотопографические аппараты различаются по размерам кадра. В аэрофотопографической практике в нашей стране до сих пор применялись АФА с размером $18 \times 18 \text{ см}$. В настоящее время отечественное производство переходит на размеры 23×23 (АФА) и 30×30 (КФА) см. Конструируются стереоприборы для обработки снимков под новые размеры кадра (рис. 2.11).

Аэрофотоаппараты могут быть автоматическими, полуавтоматическими и неавтоматическими. Все функции современных АФА практически автоматизированы. Вручную выполняется лишь ввод значе-

Таблица 2.3. Основные характеристики новейших АФА

	АФА ТК-10/18	АФА ТК-14/18	АФА ТК-25/18	АФА ТК-21/23
Размер кадра	18 × 18	18 × 18	18 × 18	23 × 23
Тип объектива	Руссар-71	Руссар-87	Руссар-101	Руссар
Фокусное расстояние, мм	100	140	250	210
Угол поля зрения, град.	103	85	54	75
Относительное отверстие	1:6,8	1:4,0	1:4,1	1:4,0-1:11,0
Разрешающая способность линз, мм ⁻¹	40	40	40	40
Диапазон выдержек, с	1/40-1/800	1/40-1/500	1/50-1/600	1/60-1/500
Минимальный интервал между экспозициями (с)	2,5	2,5	2,5	2,5
Наличие систем автоматического регулирования экспозиции и компенсатора сдвига изображения	есть	есть	есть	есть
Способ выравнивания пленки	вакуумный	вакуумный	вакуумный	вакуумный
Масса камеры, кг	70	75	80	73

ния светочувствительности аэрофотопленки в систему автоматического регулирования экспозиции и установка нужного светофильтра перед объективом аэрофотоаппарата. Но некоторые малогабаритные и ручные АФА могут работать в полуавтоматическом и неавтоматическом режиме. Двигателем АФА является электромотор, ток подается от общей самолетной сети.

В верхней части корпуса АФА расположена прикладная рамка, размеры и конфигурация которой определяют формат будущих снимков (рис. 2.12).

В момент экспонирования фотопленка выравнивается пневматически. Из кассеты отсасывается воздух или в корпус АФА нагнетается

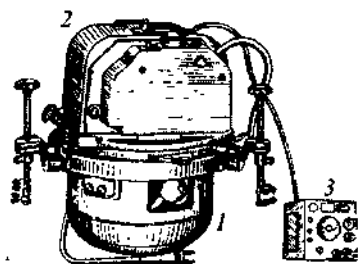


Рис. 2.12. Аэрофотоаппарат АФА-ТЭ.

1 — корпус; 2 — кассета; 3 — командный прибор.

воздух, и пленка плотно прижимается к выравнивающей доске. В некоторых фотоаппаратах пленка прижимается к стеклу, помещенному в плоскости кадрового окна. На стекле нанесены с высокой степенью точности координатные кресты через 1 см.

Объектив входит в устройство, называемое конусом. На ряде АФА смонтировано приспособление сменных конусов, т. е. объективов с разными фокусными расстояниями. Объектив АФА сфокусирован на бесконечность и дает резкое изображение по всему полю снимка.

В ранее выпущенных камерах в поле снимка отпечатываются нити для контроля выравнивания пленки, по углам кадра — показание шарового уровня и циферблат часов (рис. 2.13).

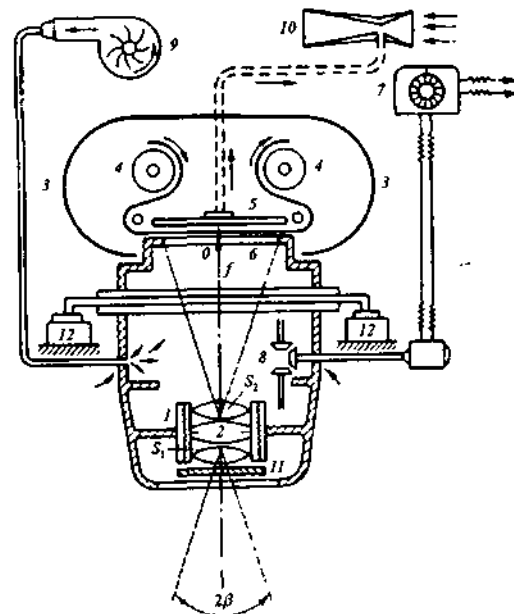


Рис. 2.13. Схема аэрофотоаппарата. 1 — объектив (S_1 и S_2); 2 — затвор; 3 — кассета; 4 — катушка; 5 — прижимная доска; 6 — прикладная рамка (стекло); 7 — командный прибор; 8 — распределительный механизм; 9 — воздуходувка; 10 — трубка Вентури; 11 — светофильтр; 12 — аэрофотоустановка.

В более современных АФА служебная информация впечатывается в полосу между отдельными кадрами: стрелкой указывается направление очередности кадров, отмечается фокусное расстояние объектива, шаровой уровень, номер кадра. Если выравнивание пленки во время

съемки осуществлялось путем прижима к специальному стеклу, то для оценки качества прижима по всему полю снимка впечатываются крестики.

В наиболее современной камере АФА ТК 21/23 в поле снимка впечатываются: координатные метки, номер АФА, шифр объекта съемки, дата съемки, номер снимка, показания часов, величина выдержки, значение относительного отверстия объектива, светочувствительность фотопленки, разность высот фотографирования по отношению к предыдущему кадру.

Затворы АФА различные: шторные, центральные, жалюзи, роторные и другие с диапазоном выдержек от 1:30 с до 1:1000 с. В аэрофотоаппаратах, предназначенных для съемок при больших скоростях полета и малой высоте съемки (крупномасштабная съемка), устанавливаются механизмы компенсации сдвига изображения (КСИ). Современные АФА снабжены устройством для автоматического регулирования экспозиции (АРЭ). В зависимости от освещенности и яркости снимаемой местности АРЭ автоматически меняет выдержку.

Кассета крепится сверху корпуса, она имеет механизм, выполняющий перемотку и выравнивание пленки. В кассете помещаются две катушки, пустая и с пленкой длиной 60 м, что позволяет получать около 300 снимков размером 18×18 см. Существуют также кассеты повышенной емкости.

В комплект АФА входит аэрофотоустановка, которая содержит механизм разворота камеры на угол сноса и ее нивелировки, систему амортизации и командный прибор. Аэрофотоустановка представляет собой устройство, соединяющее АФА с летательным аппаратом. Она служит для сохранения в полете заданного положения камеры и содержит приспособления для уменьшения влияния вибрации самолета на качество снимков. Все современные АФА снабжены гиросtabilизирующими установками — гиорамами, которые позволяют сохранять вертикальность оптической оси камеры с ошибкой до нескольких минут независимо от положения самолета. Современная гиросtabilизирующая установка ГУТ-3 обеспечивает стабилизацию АФА в полете с ошибкой не более 5–8'.

Командный прибор служит для выполнения интервалов между циклами работы механизмов АФА. Эту функцию в отечественных АФА выполняет электронный командный прибор ЭКП-2М или ЭКП-3. На нем устанавливается с точностью до 0,1 с промежуток времени между экспозициями. Минимальный интервал между экспозициями составляет 2,5 с и менее.

Кроме того, на практике используются аэрофотоаппараты более ранних выпусков, например, ТАФА-10, АФА-ТЭ и др. ТАФА-10 оснащен объективом с фокусным расстоянием 100 мм и разрешением 40 мм^{-1} в центре снимка, имеет систему АРЭ, размер кадра 18×18 см. АФА-ТЭ (С) выпускался с различными фокусными расстояниями объективов: 70, 100, 350 мм, с разрешением 30, 35 и 43 мм в центре снимка.

Из зарубежных АФА следует упомянуть ЛМК, предназначенный для аэрофотосъемок на черно-белую, цветную, спектрзональную и инфракрасную фотопленки для решения разнообразных задач природопользования и картографирования. ЛМК-3000 имеет четыре сменных конуса с объективами с фокусными расстояниями: 90, 150, 210 и 300 мм. Имеется система АРЭ, система компенсации продольного и углового сдвигов изображения, гиросtabilизация. Размер кадра 23×23 см.

В воздушной и космической съемках используются не только отдельные фотокамеры, но и многокамерные съемочные системы. Такие фотографические агрегаты представляют собой комплекс, состоящий из ряда одинаковых фотографических аппаратов, смонтированных вместе с единой системой управления. Они предназначены для многозональной (мультиспектральной) съемки сразу в нескольких зонах спектра.

Первоначально такие аппараты конструировались как многообъективные — специально для аэрофотосъемок. Например, французскими специалистами были созданы камеры «Марс-1» и «Марс-2», которые одновременно фиксировали на одной пленке в пределах стандартного кадра четыре малоформатных изображения в зонах спектра 400–460, 480–570, 600–680 и 740–820 мкм.

Во многих странах были созданы фотопары для многозональной съемки. Среди них четырехобъективная синхронно работающая аэрофотокамера МСК-4 (Германия), предназначенная для съемки с высот не более 3 км. Объективы камеры имели фокусное расстояние 125 мм, размер кадра 55×80 мм. Съемка велась в четырех зонах спектра: 480 мкм (зеленая), 540 мкм (желтая), 660 мкм (красная), 840 мкм (инфракрасная).

Но особенно быстро стали появляться многоспектральные системы с развитием космических съемок. В семидесятых годах прошлого столетия совместно учеными СССР и Германии была сконструирована многозональная камера МКФ-6, затем модернизированная в МКФ-6М. В 1974 г. ею производилась фотосъемка с пилотируемого космиче-

ского корабля «Союз-22», а затем с космических станций «Салют-6», «Салют-7» и «МИР» (см. табл. 2.4–2.5).

Таблица 2.4 Космические фотоаппараты

	МКФ-6М	КАТЭ-140
Фокусное расстояние, мм	125	140
Угол поля зрения по диагонали, град	22°00'	85°
Относительное отверстие	1/4–1/13,5	1/6,8
Размеры кадра, мм	54×81	180×180
Число зон спектра	6	1
Затвор	роторный	центральный
Компенсация сдвига изображения	качанием	нет
Емкость кассеты (кадров)	2400–2600	не менее 600

Таблица 2.5 Зоны спектра камеры МКФ-6М

Каналы	нм	Разрешение линз, мм ⁻¹	Область спектра	Тип пленки
первый	460–500	83–53	синие-зеленая	T-18
второй	520–560	162–101	желто-зеленая	T-18
третий	580–620	162–101	желтая	T-18
четвертый	640–680	162–102	красная	T-18
пятый	700–740	53–42	ближняя ИК	ИК-740
шестой	780–860	27	дальняя ИК	ИК-840

Тогда же с космических летательных аппаратов серии «Салют-2» производилось фотографирование специальной высокоточной автоматической топографической фотокамерой КАТЭ-140 ИСЗ «Салют-4» с фокусным расстоянием 140 мм и размером кадра 18×18 см (см. табл. 2.4). Для космической съемки были созданы также другие фотоаппараты: длиннофокусный КАТЭ-1000 (фокусное расстояние 1000 мм), короткофокусный ПКФ-1К (фокусное расстояние 50 мм, формат кадра 7×8 см) и др. Последний использовался для черно-белой фотосъемки на пленку Панхром тип 15, 17, 18, 22, а также И-740 и И-840.

«Тематический картограф» (ТК), установленный на «Лендсет-4» (США), также ведет съемку в шести зонах спектра: в видимой (от 0,45 до 2,35 мкм), а также ближней ИК и тепловой зонах, с разрешением 30 м для видимой и инфракрасной зон и 120 м для тепловой зоны.

Российское космическое агентство создало космические комплексы детального фотонаблюдения Земли «Ресурс-Ф1» и «Ресурс-Ф2», которые затем были модернизированы в «Ресурс-Ф1М» и «Ресурс-Ф2М». Съемка системами «Ресурс» предназначалась для решения задач природопользования и территориального планирования. Запусками этих систем было положено начало разработок и внедрения среди поль-

зователей материалов, получаемых съемочными системами высокого разрешения (1–5 м) (табл. 2.6, 2.7).

Таблица 2.6. Космические аппараты подсистемы «Ресурс-Ф»

Параметры орбиты	Ресурс-Ф1	Ресурс-Ф1М	Ресурс-Ф2	Ресурс-Ф2М
Продолжительность полета в активном режиме, сут	14	19	30	30
Основная рабочая орбита (наклонение)	82,3°	82,3°	82,3°	82,3°
Средняя высота полета, км	275	235	240	240

Таблица 2.7 Состав фотоаппаратуры

Формат кадра	Ресурс-Ф1		Ресурс-Ф1М		Ресурс-Ф2	Ресурс-Ф2М
	КФА-200 (3 шт)	КФА-100 (2 шт)	КФА-200	КФА-1000 (3 шт)	МК-4 (3 шт)	МК-4М
Размер кадра, см	18×18	30×30	18×18	30×30	18×18	18×18
Фокусное расстояние, мм	200	1000	200	1000	300	300
Разрешение, м	25–30	8–10	23–25	6–8	10–12 12–14	7–10 8–11
многозональное спектрально-белое						

В 1994 г. проведены экспериментальные съемки высокого спектрального разрешения с космической станции «Мир». Четырехканальная фотокамера МК-4М, установленная в модуле «Природа» орбитальной пилотируемой станции «Мир», обеспечивала получение информации с высоким пространственным разрешением (табл. 2.8).

Таблица 2.8 Аппаратура для космической съемки. Четырехканальная фотокамера МК-4М

№ канала	Зоны спектра	Разрешение на местности, м	Масштаб съемки при высоте полета 700 км
1	520–560	8	1:1 000 000
2	640–690	8	1:1 000 000
3	610–760	9	1:1 000 000
4	810–870	10	1:1 000 000

Некоторые частные космические компании США и Европы разрабатывают и осуществляют спутниковые программы съемок Земли с разрешением до 1 м.

Помимо аэрофотоаппаратов, которыми ведется покадровая съемка, существуют панорамные и щелевые АФА. Панорамный АФА-КО

снабжен качающимся объективом, который строит изображение на натянутой по дуге пленке. *Щелевой аэрофотоаппарат АЩАФА* дает снимок в виде непрерывного изображения. В фокальной плоскости объектива АЩАФА расположена щель затвора, над которой в направлении, противоположном полету, пропускается фотопленка со скоростью $V_f = W \frac{1}{m}$, где W — скорость самолета, $\frac{1}{m}$ — масштаб съемки. Таким образом, на пленку через открытую щель непрерывно накладывается изображение и получается единое целое изображение местности в виде полосы (рис. 2.14).

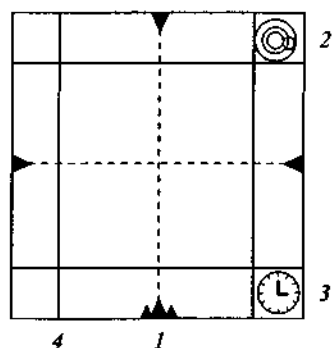


Рис. 2.14. Схема аэрофотоснимка 1 — координатные метки; 2 — уровень; 3 — часы; 4 — нити для контроля выравнивания пленки во время фотографирования

Аппарат АЩАФА может применяться для съемки с малых высот при большой скорости полета и в условиях недостаточной освещенности. Обычно щелевой АФА содержит два объектива, с помощью которых можно одновременно снимать два параллельных или перекрывающихся маршрута для получения стереомодели или двух изображений в разных масштабах (рис. 2.15).

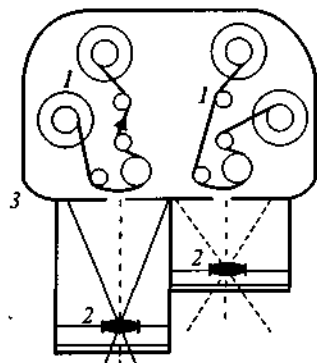


Рис. 2.15. Схема щелевого аэрофотоаппарата 1 — катушки с пленкой, 2 — объектив; 3 — кассета.

В настоящее время, наряду с широким использованием обычных аэрофотографических аппаратов, в ряде случаев из соображений экономии средств стали обращаться к малоформатным камерам. Такое оборудование дешевле традиционного, сам процесс съемки или обработки материалов существенно проще и выполняется быстрее. Вместе с тем возрос интерес к малогабаритным космическим летательным аппаратам, не требующим больших затрат на эксплуатацию. К тому же новейшие проектируемые миниатюрные камеры будут обеспечивать разрешение в 8–5 м и даже 2,5 м.

Съемка может вестись с любых летательных аппаратов от легких самолетов до космических станций. Съемка производится либо с руки, либо аппарат закрепляется в установке на борту. Малоформатная съемка используется в качестве дополнения визуальных наблюдений, например, как средство экологического мониторинга. Успешно использовались малоформатные ручные камеры при наблюдении Земли с космических орбитальных станций — ресурсных спутников. В зарубежной практике широко использовались малоформатные камеры «Хассельблат», «Роллейфлекс» и другие с размером кадра 60×60 мм и 35×35 мм. Последний имеет следующие параметры: масса 1,3 кг, сменные объективы 50, 80 и 150 мм, в кассете 24 кадра, пленка прижимается к стеклу с сеткой.

2.6. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Для фотографирования с воздуха и из космоса используются фотографические пленки. В настоящее время существуют четыре разновидности фотографических пленок:

- 1) черно-белые типа панхром, светочувствительность которых перекрывает видимую зону спектра;
- 2) черно-белые спектрзональные, рассчитанные на фотографирование в узкой зоне спектра, например, пленки типа инфрахром;
- 3) цветные негативные и диапозитивные, предназначенные для фотографирования в натуральных цветах;
- 4) цветные спектрзональные, которые не передают цветов натуры, но сильно подчеркивают цветовым контрастом различие между некоторыми объектами.

Фотопленка состоит из основы — подложки и светочувствительного слоя — эмульсии. В качестве подложки используется целлулоидная или лавсановая основа, которая мало деформируется при фотохимической обработке и хранении. Светочувствительный слой толщиной

от 25 до 6 мкм состоит из желатины, в которой во взвешенном состоянии равномерно распределены чувствительные к свету кристаллы бромистого серебра с примесью йодистого серебра. Средний диаметр кристаллов галогенида серебра 1 мкм и меньше. Фотографические свойства эмульсии характеризуются такими показателями, как общая и спектральная светочувствительность, контрастность, широта, разрешающая способность и вуаль. Большинство характеристик устанавливается в результате сенситометрических испытаний каждого конкретного фотоматериала (рис. 2.16).

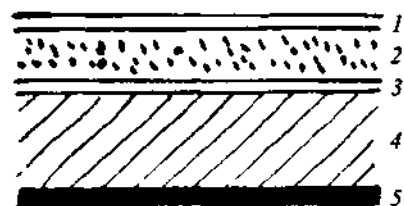


Рис. 2.16. Строение черно-белой фотопленки 1 — защитный слой; 2 — светочувствительный слой; 3 — подслой; 4 — подложка; 5 — противоореольный слой

Прежде чем приступить к изложению основ сенситометрии, перечислим и объясним некоторые термины и величины *фотометрии* — науки о световых измерениях. Исходным понятием и величиной является *световой поток*. Световым потоком F называется поток лучистой энергии, мощность которого оценивается по световому ощущению, производимому на нормальный человеческий глаз. Единицей светового потока является люмен (лм). Сила света I выражается в условных единицах — канделах (кд) (свечах).

Освещенность E_0 определяется из отношения светового потока F к площади поверхности S_m , на которую он падает:

$$E_0 = \frac{F}{S_m}.$$

Если световые лучи отклоняются от нормали к поверхности на угол φ , то освещенность такой поверхности выражается формулой

$$E = E_0 \cos \varphi.$$

Единицей освещенности является люкс (лк). Освещенность в один люкс создается световым потоком в один люмен, равномерно распределенным на площади в 1 м².

Все тела, испускающие или отражающие свет, обладают определенной яркостью. Яркость характеризуется световым потоком, излу-

чаемым некоторой поверхностью в заданном направлении. Единицей яркости является кд/м².

Во время фотографирования эмульсия фотопленки подвергается засветке через объектив. Количество освещения, или *экспозиция* H , определяется из произведения освещенности на время освещения t

$$H = Et.$$

Время освещения, или *выдержка* t , — это промежуток времени, в течение которого был открыт затвор и светочувствительный слой подвергался воздействию света. Коэффициент пропускания, или *прозрачность* τ , экспонированного и проявленного фотоматериала на прозрачной основе определяется из отношения пропущенного светового потока F_t к падающему на слой световому потоку F_f

$$\tau = \frac{F_t}{F_f}.$$

Величина, обратная прозрачности $O = \frac{1}{\tau}$, называется непрозрачностью, или *коэффициентом поглощения*. Степень почернения фотографического материала под действием света называется *оптической плотностью* D , которая выражается через десятичный логарифм непрозрачности

$$D = \lg O = \lg \frac{1}{\tau}.$$

Сущность сенситометрических испытаний состоит в том, что на особом приборе — сенситометре участки испытуемого материала засвечиваются через разные промежутки времени строго эталонированным источником света. Экспонированный материал проявляется в определенных условиях в стандартном проявителе. Затем определяется величина почернения различных участков. В результате испытаний строят так называемую *характеристическую кривую*, представляющую собой график зависимости плотности изображения от логарифма количества освещения, или экспозиции ($\lg H$) (рис. 2.17).

Общая светочувствительность S определяется по отношению к дневному свету и выражается в условных единицах ГОСТа. Светочувствительностью слоя называют величину, обратно пропорциональную количеству освещения (экспозиции), создающему на фотографической эмульсии некоторую плотность D_S . Светочувствительность аэрофотографической пленки определяется по экспозиции, дающей почернение,

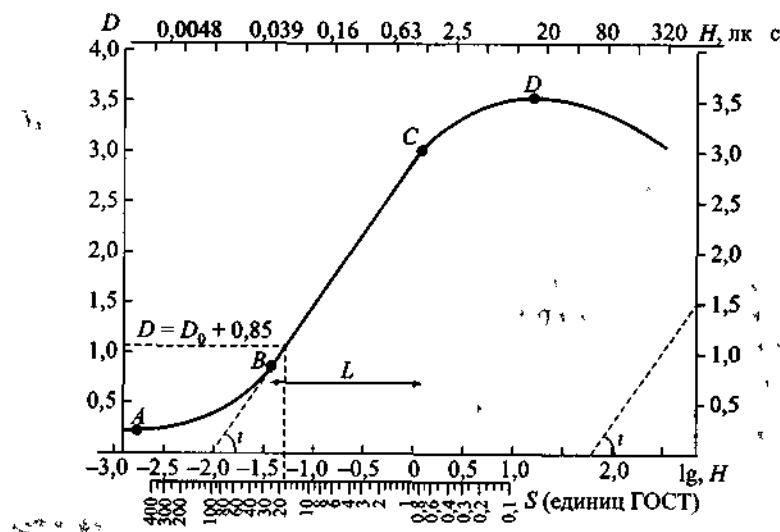


Рис. 2.17 Характеристическая кривая

превышающее оптическую плотность вуали на величину 0,85. Величина S может быть вычислена по формуле

$$S = \frac{10D_0}{H_D},$$

где D_0 — плотность вуали, которая находится на графике относительно точки A. Для этого на характеристической кривой находят точку, соответствующую плотности $D = D_0 + 0,85$, опускают перпендикуляр на шкалу чувствительности и найденное число умножают на 10. Следует заметить, что светочувствительность обычных пленок рассчитывается несколько иначе.

Вуаль проявляется в том, что возникают потемнения в тех местах негатива, которые не подвергались воздействию света. Новая пленка, как правило, имеет малую, практически неощутимую вуаль. Однако плотность вуали возрастает при длительном хранении. Область вуали на графике расположена левее точки A. Участок графика AB соответствует области недодержек, участок BC — области нормальных экспозиций, участок CD характеризует область передержек.

Отрезок L на оси абсцисс характеризует фотографическую широту эмульсии. Широта может быть определена как свойство эмульсии правильно воспроизводить соотношение яркостей фотографируемых

объектов при различных колебаниях экспозиции. Чем больше широта эмульсии, тем меньше влияют ошибки экспозиции на качество фотоизображения. Аналитически широта определяется следующим образом:

$$L \lg H_C - \lg H_B = \lg \frac{H_C}{H_B}.$$

Коэффициент контрастности γ характеризует способность эмульсии передавать некоторый интервал количества освещения большим или меньшим интервалом оптических плотностей. Он определяется по характеристической кривой как тангенс угла наклона ее прямолинейного отрезка BC к оси H , т. е. $\operatorname{tg} \alpha$. Чем больше угол α , тем выше контрастность эмульсии. Аналитически контрастность подсчитывается по формуле

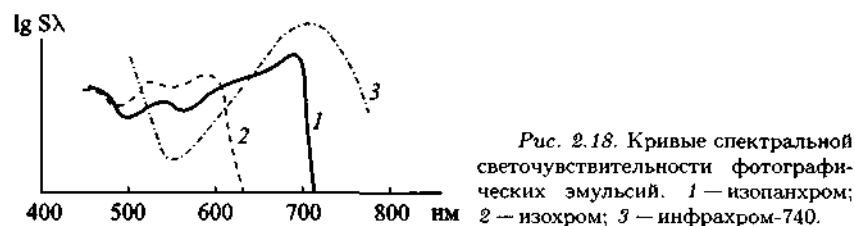
$$\gamma = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta D}{\Delta \lg H} = \frac{D_2 - D_1}{\lg H_2 - \lg H_1}.$$

По степени контрастности различаются фотопленки с мягким, нормальным, контрастным и особо контрастным светочувствительными слоями. Нормальная пленка правильно передает интервал яркостей ландшафта, мягкая пленка смягчает его, контрастная усиливает. Выбор пленки по этому признаку зависит от оптических свойств объекта съемки и наличия атмосферной дымки. Следует также отметить, что контрастность пленки связана определенным образом с разрешающей способностью, поэтому выигрывая в контрасте, можно проиграть в детальности изображения.

Разрешающая способность — это способность пленки передавать мельчайшие детали объектов. Разрешающая способность оценивается по числу различных черно-белых штрихов, приходящихся на 1 мм изображения. С разрешающей способностью прямо связаны дешифровочные свойства снимков, их информативная емкость.

Спектральной светочувствительностью, или цветочувствительностью, называют свойство фотографической эмульсии определенным образом реагировать на каждый отдельный участок спектра. Различные цвета спектра обладают по отношению к данной эмульсии разной фотохимической яркостью, т. е. разной степенью воздействия. Эмульсия, содержащая галондное серебро (бромистое серебро), чувствительна только к сине-фиолетовой части спектра в очень узкой зоне. Эта так называемая несенсибилизированная эмульсия служит основой для получения эмульсий различной цветочувствительности.

Эмульсия, дополнительно очувствленная к зеленым лучам, называется *ортохроматической*. Фотографическая эмульсия, очувствленная ко всем лучам видимой части спектра, называется *панхроматической*, или *изопанхроматической*. Следует заметить, что оптическая сенсibilизация не дает эмульсии равной чувствительности ко всем лучам спектра. Распределение чувствительности по спектру графически выражается кривой спектральной светочувствительности, представляющей зависимость логарифма спектральной чувствительности от длины волны света (рис. 2.18).



В настоящее время преимущественное положение в аэрофотосъемке занимает панхроматическая пленка с различными фотографическими свойствами, от типа-18 до типа-92. Ортохроматическая пленка и приближающаяся к ней по характеристикам пленка типа изохром применяются для решения частных задач, например, для съемки морских мелководий. Для фотографирования в ближайшей инфракрасной части спектра применяются пленки типа *инфрахром*, дополнительно очувствленные к инфракрасной части спектра, например, И-840 и др. Все пленки имеют остаточную чувствительность к фиолетово-синим лучам спектра, поэтому при съемке применяются *светофильтры*: желтый, оранжевый, красный, отсекающие зону чувствительности, прилегающую к фиолетовой, синей, зеленой.

Применение светофильтров при съемке меняет как цветочувствительность эмульсии, так и светочувствительность. Желтые, оранжевые и красные *компенсационные светофильтры* приходится применять при съемке для того, чтобы ослабить лучи коротковолновой части спектра, которые интенсивно рассеиваются атмосферой, что образует воздушную дымку и делает небо голубым. При этом изменяется восприятие цветов эмульсией и понижается эффективная чувствительность. Она становится тем меньше, чем плотнее (ближе к красному) светофильтр.

Селективные светофильтры предназначены для спектральной съемки в узкой зоне спектра. Ими могут служить как желтый, оранжевый и красный, так и голубой и зеленый светофильтры. Селективные светофильтры используются при многозональной съемке для получения группы изображений одного и того же объекта в разных зонах спектра.

Для печати черно-белых отпечатков применяются обычные бромосеребряные фотобумаги разной контрастности в зависимости от качества негативов. Предпочтение отдается глянцевой фотобумаге на тонкой подложке.

Цветное фотографирование производится на трехслойной пленке. На рис. 2.19 приведена схема строения цветной пленки, предназначенной для получения цветных негативов. На нитроцеллюлозной основе налиты последовательно три различных светочувствительных слоя. Верхний слой представляет собой несенсибилизированную эмульсию, чувствительную к синим лучам спектра. Средний эмульсионный слой очувствлен к лучам зеленой части спектра (ортохром), а нижний слой имеет чувствительность к красным лучам (панхром). Перед вторым и третьим слоями расположен тонкий желтый фильтровый слой, предохраняющий нижние слои от воздействия фиолетово-синих-голубых лучей.

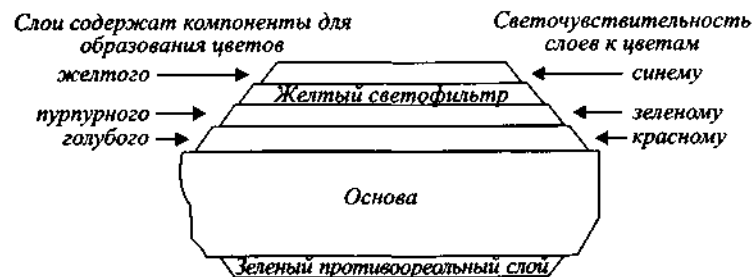


Рис. 2.19. Схема строения цветной пленки.

Во все три светочувствительных слоя введены особые бесцветные химические компоненты, которые во время проявления окрашивают эмульсионные слои в желтый, пурпурный и голубой цвета. Таким образом, негатив получается не в натуральных, а в так называемых дополнительных цветах. Фильтровый и зеленый противоореальный слой во время проявления обесцвечиваются.

Существуют пленки и способы проявления, сразу дающие изображение в натуральных цветах, — диапозитивы. Несмотря на хорошую цветопередачу, практическая ценность таких пленок мала, так как

для размножения фотографий нужна обратимая цветная фотобумага. Кроме того, цвета диапозитивов не могут быть подвергнуты коррекции. При печати же с цветных негативов используются коррекционные светофильтры, позволяющие улучшить или нужным образом изменить цветовую гамму изображения.

Обычная цветная фотобумага имеет строение, аналогичное негативной фотопленке, но не имеет противоореольного слоя. Отечественная промышленность выпускает цветные фотобумаги различного типа.

Цветное спектрзональное фотографирование производится на специальных двух- и трехслойных пленках с искусственно созданным сочетанием цветов, отличающихся от натуральных. Отечественная промышленность выпускает пленки различных вариантов. Наибольшее распространение получили пленки с сочетанием слоев панхром-инфрахром, ортохром-панхром и другие, с различной окраской светочувствительных слоев (СН-2М, СН-6М, СН-23 и др.). Топографическая съемка ведется на пленку СН-18, обладающую высокой разрешающей способностью. Цветные спектрзональные снимки не передают действительных цветов натуры, но сильно подчеркивают цветовым контрастом различие в свойствах объектов съемки и позволяют обнаруживать и распознавать на снимках такие объекты, которые на черно-белых снимках или в натуральных цветах не выделяются и поэтому не дешифрируются. Для печати цветных спектрзональных снимков используется либо обычная цветная фотобумага, либо специальная бумага. Результат может быть получен различный. Например, изображение лесов будет приближаться к осенней расцветке: лиственные деревья будут оранжевыми, хвойные — сине-зелеными. Иногда, особенно на космических снимках горных или пустынных районов, удобно получить изображение, на котором вся растительность будет передана оранжево-красным цветом. В других случаях могут оказаться полезными снимки с малиново-красным изображением открытой воды и грунтов.

В практике цветной фотосъемки используется различная технология. Кроме прямого фотографирования на негативной или, реже, позитивной цветной или цветной спектрзональной пленке, съемка ведется также многоканальными съемочными системами типа МКФ-6М и другими на черно-белые пленки через цветные светофильтры. Затем каждый снимок используется отдельно или в сочетании с другими снимками. Зональные изображения, окрашенные в дополнительные цвета, могут быть использованы для получения единого цветного изображения в натуральных или нарушенных цветах.

2.7. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Фотографическая обработка отснятых материалов производится в фотолaborаториях, а проявление фильмов — в специальных проявочных приборах, которые бывают различных типов, но все они сконструированы таким образом, чтобы обеспечить равномерное и правильное по времени проявление фотопленки или фотобумаги. Наиболее часто употребляются проявочные приборы с перематыванием пленки. Такие приборы состоят из двух катушек, помещаемых в ванну с проявителем. Пленка равномерно перематывается вручную или электромотором с одной на другую, в это же время происходит ее проявление. Созданы специальные проявочные приборы для пленки АПП-85 и АМПП-11М, проявочная машина 83П-3, а также проявочные приборы для черно-белых и цветных отпечатков ПЦО-2.

Перед проявлением всего фильма делается проба. Для этого в начале или в конце залета специально снимается несколько кадров. По пробным негативам окончательно выбирается нужный проявитель и устанавливается время проявления. Готовый фильм сушат на специальных барабанах. Нередко для сокращения времени на сушку фильм пропускают через чистый спирт. В эмульсии спирт замещает воду, и негатив сохнет значительно быстрее. Создан также специальный сушильный агрегат.

После сушки фильмы просматривают, чтобы определить фотографическое качество, и затем нумеруют. На современных фотоаппаратах установлена система автоматической нумерации кадров. Однако в практике аэрофотосъемки нередко приходится нумеровать кадры вручную. Система нумерации может быть различной, но обычно записывается индекс объекта съемки, дата, месяц и год съемки и порядковый номер кадра. Считается удобным, если номер кадра приходится на верхний правый угол аэрофотоснимка. Определенная система нумерации и регистрации принята также для материалов электронных кадровых снимков и полученных системами непрерывного сканирования и фотографирования. На космических снимках указывается дата, год, часы, минуты съемки, номер витка и направление полета.

Окончив регистрацию, приступают к печати снимков *контактной* или *проекционной*.

Контактная печать производится на специальных станках — копировальных приборах, разных по конструкции, но построенных по единой принципиальной схеме. В осветительном ящике расположены ряды электрических лампочек и красная лампочка, используемая при

укладке фотобумаги. Сверху расположено молочное или матовое стекло для создания равномерной освещенности негатива. Над молочным стеклом помещается толстое зеркальное стекло, к которому специальной доской во время экспонирования прижимается негатив с фотобумагой. Прижимная доска снабжена резиновой надувной подушкой для более плотного и равномерного прижима бумаги к негативу. На корпусе крепятся кронштейны, где размещаются катушки с фильмом. Для получения одинаковых выдержек копировальные станки снабжаются экспоиметрами, которые зажигают свет, когда крышка прижимает негатив с бумагой к стеклу, и автоматически выключают свет по истечении установленного времени.

По описанной выше схеме устроен и работает копировальный станок КП-8 (рис. 2.20). В настоящее время сконструированы более совершенные станки для контактной печати и синтеза черно-белых и цветных снимков, например, комплекс «Контакт».

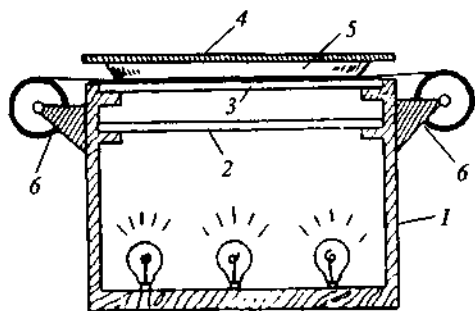


Рис. 2.20. Схема устройства копировального станка. 1 — осветительный ящик; 2 — молочное или матовое стекло; 3 — зеркальное стекло; 4 — прижимная доска; 5 — надувная подушка; 6 — кронштейны.

Прежде чем приступить к массовой печати снимков, делают несколько проб на выдержку и качество фотобумаги. Основное правило подбора фотобумаги состоит в том, что для печати с контрастного негатива нужна мягкая бумага и, наоборот, для мягкого негатива требуется контрастная бумага.

Во всех случаях, когда интервал яркостей негатива велик, при печати снимков возникают затруднения с проработкой самых светлых и самых темных мест. Иногда помогает оттенение, которое делается, например, листами папиросной бумаги, укладываемой на матовое стекло копировального прибора. Однако существует более удобный прием, называемый *методом нерезкой маски* (см. рис. 2.21). Он заключается в том, что засветка производится не сплошным ровным светящимся полем, а через нерезкий позитив, который и называется «маской». Этот принцип технически может быть воплощен по-разному. Маски могут быть

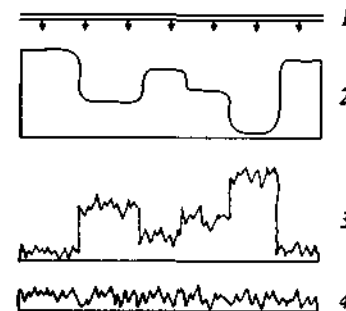


Рис. 2.21. Принцип печати снимков с нерезкой маской. 1 — осветитель; 2 — маска; 3 — негатив, 4 — маскированный отпечаток.

сделаны для каждого негатива на фотопластинках, пленке и даже фотобумаге. Для этого при экспонировании между фотоматериалом и негативом помещается стеклянная пластинка толщиной 2–4 мм. В результате получают нерезкий позитивный отпечаток, проявленный до полного контраста или недопроявленный, в зависимости от контраста самого негатива. Полученную маску затем помещают между источником света и негативом при контактной печати позитивов. Таким образом маска играет роль оттенителя, с помощью которого выравнивается освещенность очень светлых и темных участков негативов.

Этот же принцип воплощен в особом рода электронном копировальном приборе «ЭЛКОП». Прибор состоит из печатного столика, светящееся поле которого создается электронно-лучевой трубкой. На печатный столик обычным порядком укладываются негатив и фотобумага. Электронный луч, пробегающий по негативу строка за строкой, создает свечение различной интенсивности за фотобумагой. Фотоумножитель воспринимает и усиливает свет, и через регулировочный блок автоматически и практически мгновенно изменяется интенсивность электронного луча, усиливая освещенность более темных мест и уменьшая ее на светлых участках. На снимках, отпечатанных с нерезкой маской, лучше прорабатываются детали, более выровненными становятся контрасты, и в то же время появляются четкие тональные различия между объектами, которые на обычных отпечатках не прорабатываются (рис. 2.22).

Первый вариант прибора «ЭЛКОП» был создан в 1966 г. Более совершенный вариант «ЭЛКОП тип В» выпущен в 1980 г. Его преимущество — более тонкая регулировка контрастности, сокращение времени копирования, пневматическое выравнивание фотоматериала, увеличение размера снимков с 30×30 до 46×6 см.

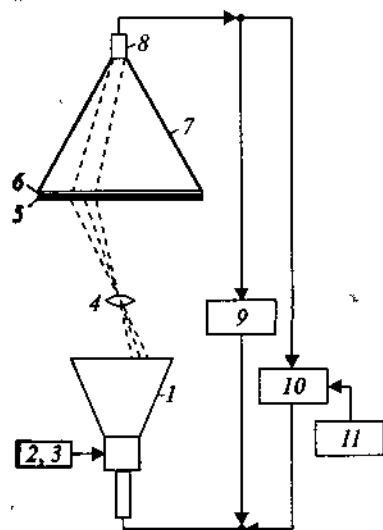


Рис. 2.22. Схема электронно-копировального прибора. 1 — электронно-лучевая трубка; 2, 3 — развертывающее устройство, 4 — объектив; 5 — негатив; 6 — фотобумага; 7 — коллектор; 8 — фотозащитный элемент; 9 — усилитель обратной связи; 10 — счетно-решающее устройство; 11 — регулятор.

Проекционная печать снимков делается для изменения масштаба изображения (главным образом для увеличения), а также исправления геометрических искажений. При таком способе печати изображение с помощью оптической системы проецируется на поверхность фотобумаги. Для проекционной печати используют различного рода увеличители. Они состоят из источника света, системы плоско-выпуклых линз — конденсатора и объектива. В некоторых приборах, например фототрансформаторе ФТБ, вместо конденсатора установлено параболическое зеркало.

Для получения цветных изображений на основе различных комбинаций исходных зональных негативов используются так называемые синтезирующие приборы. Среди отечественных наибольшее распространение получил многоканальный цветосинтезирующий проектор МСП-4, последняя модификация которого МСП-4С была создана в 1979 г. Он представляет собой четырехканальный проектор, предназначенный для визуального просмотра и дешифрирования синтезированных фотоизображений в условных и натуральных цветах, а также черно-белых. Синтезируется четыре любых из шести негативов, получаемых камерой МКФ-6М. Синтезированное изображение может быть рассмотрено на экране с полезной площадью 350×450 мм, а также сфотографировано в черно-белом и цветном варианте.

Новый прибор синтеза ПС-4, выпущенный в 1988 г., в отличие от МСП-4 позволяет обрабатывать многозональные широкоформатные снимки размером до 18×18 см. Он может быть использован для получения цветных синтезированных снимков и негативов, масштабированных синтезированных фотосхем и синтезированных фотопланов. Увеличение изображения пятикратное, как и у МСП-4С. С помощью ПС-4 возможно, не прибегая к разрезанию зональных негативов, получать четыре цветных синтезированных изображения размером 500×500 мм. Прибор оборудован устройством для химико-фотографической обработки и сушки экспонированного материала.

Цветофотографический процесс получения цветных фотографий более сложен, чем в случае черно-белых снимков. Для получения цветного изображения применяются трехслойные негативные и позитивные пленки и фотобумага. Цветное спектрально-зональное изображение в условных цветах получается также на трех- и двухслойной фотопленке, как это показано в предыдущем параграфе.

Разберем процесс получения цветного негатива и позитива на примере фотографирования цветной шкалы, включающей красный, желтый, зеленый, голубой, синий, белый и черный цвета. При фотосъемке красные лучи действуют лишь на третий слой эмульсии, образуя при проявлении голубое изображение. Желтые лучи, состоящие из лучей красного и зеленого цвета, действуют на второй и третий слои. Зеленые лучи образуют во втором слое пурпурное поле. Голубые лучи, состоящие из смеси лучей синих и зеленых, действуют на первый и второй слои. Синие лучи образуют желтое поле в первом слое и будут задержаны светофильтром. Белые лучи, состоящие из смеси всех цветов, действуют на все три эмульсионных слоя. Черное поле шкалы лучей не отражает и не излучает, и воздействовать на эмульсию не будет. В этих местах негатив будет бесцветным (прозрачным). Рассматривая негатив на просвет, увидим изображение шкалы в тонах, дополнительных к исходным, и вся картина будет мало похожа на натуральную.

Позитивный процесс происходит в том же порядке. Отличие от негативного процесса заключается в том, что в этом случае используется искусственное освещение. Белый свет осветителя состоит из трех основных цветов: синего, зеленого, красного. Голубое поле негатива задержит красные лучи и пропустит синие и зеленые, которые воздействуют на первый и второй слои. Синее поле негатива пропускает только синие лучи, образующие в верхнем эмульсионном слое поле желтого цвета.

Пурпурное поле задерживает зеленые лучи, а синие и красные лучи образуют в первом и третьем слоях эмульсии желтое и голубое поля. Красное поле негатива пропускает только красные лучи, воздействующие на третий слой. Желтое поле задерживает синие лучи, а зеленые и красные лучи воздействуют на два нижних слоя, образуя пурпурное и голубое поля. Черное поле негатива лучей не пропускает, и изображение в этих местах будет прозрачным (белым). Наоборот, прозрачное поле пропускает все лучи и дает на позитиве черное изображение.

Сравнив цвета сфотографированной шкалы на негативе и позитиве, убедимся, что они одинаковы. Но и в действительности цвета будут различаться. Искажения возникают по самым различным причинам: плохой сбалансированности светочувствительных слоев эмульсии, отклонений в режиме фотохимической обработки и др. Поэтому печать цветных снимков, как правило, производится через коррекционные светофильтры, с помощью которых исправляются нарушения в цветопередаче. Набор коррекционных светофильтров состоит из 60 или 33 штук трех основных цветов: желтого, пурпурного и голубого различной плотности. Для ослабления в позитиве излишнего цветового оттенка применяется светофильтр того же цвета нужной плотности, которая подбирается путем проб. При проекционной печати коррекционные светофильтры устанавливаются между конденсором и негативом или перед объективом.

Описанный выше способ воспроизведения цветного фотографического изображения называется *субтрактивным* способом, или способом вычитания белого цвета. Существует также *аддитивный* способ воспроизведения цветного изображения. Если сфотографировать местность через красный, зеленый и синий светофильтры, получим спектрзональные (или цветоделенные) негативы. Изготовив с этих негативов диапозитивы и спроецировав их на экран, соответственно через эти же светофильтры, получим цветное изображение. Такой способ применялся на заре цветной фотографии, но затем он был вытеснен субтрактивным способом цветной съемки на трехслойных материалах.

С развитием космической многоспектральной съемки аддитивный способ вновь стал использоваться для получения снимков в натуральных и нарушенных цветах. Например, многоканальный проектор МСП-4С основан на преобразовании аддитивным способом относительной разности плотностей на снимках в разности цветов на экране проектора. Этот способ оказался более гибким, так как с одного набора спектрзональных негативов в видимой и инфракрасной зонах можно

получить цветные изображения в различных комбинациях цветов и цветовых оттенков.

Помимо классической, издавна применявшейся технологической схемы фотографической печати снимков, в прошедшие годы разрабатывались иные способы получения изображения с позитива и негатива. Большое распространение получила электрофотография (или ксерография). В отличие от обычного фотографического процесса на галоидносеребряных эмульсиях, она использует не фотохимическое, а фотоэлектрическое действие света. В электрофотографии применяются светочувствительные материалы, состоящие из подложки и тонкого полупроводникового слоя, в качестве которого используются селен, теллур, окись цинка и др.

Во время экспонирования под действием света в полупроводниковом слое образуется скрытое электростатическое изображение. Оно проявляется с помощью красителей, частицы которых имеют заряд, противоположный по знаку заряду светочувствительного слоя. Существуют различные варианты электрофотографического процесса. Различаются технологии с сухим и мокрым способами проявления изображения. Методы сухого проявления дают большой контраст, пониженное разрешение, а также неравномерное тонирование сплошных полей, так называемый «краевой эффект». Поэтому они используются только для получения штриховых изображений и текстов. Наиболее пригодным для печати снимков является способ печати на фотополупроводниковых бумагах с жидким проявлением в бензине с диспергированной типографской краской. Этот способ позволяет воспроизводить полутоновое изображение с высокими метрическими и дешифровочными свойствами.

Глава 3

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СНИМКОВ

Изучением геометрических свойств снимков и использованием их в целях измерений занимается фотограмметрия, или измерительная фотография. Данный термин указывает на применение фотографических снимков. В действительности основные принципы построения перспективных изображений, какими являются фотоснимки, и применение их для измерительных целей были разработаны раньше, чем была изобретена фотография. Однако именно наземная и особенно аэрофототопографическая съемки вызвали бурное развитие фотограмметрии (стереофотограмметрии). Она стала самостоятельной научной дисциплиной, достижения которой легли в основу аэрофототопографического производства карт.

Геометрические свойства и способы измерений изображений, полученных с помощью других технических средств (например, методами сканирования) или в иной форме, также активно изучались. Однако в науке и практике наибольшее применение получили именно фотографические снимки, обладающие наилучшими изобразительными свойствами и сравнительно более простой геометрией. Поэтому в этой и следующих главах рассмотрены геометрические свойства и способы измерений, прежде всего и главным образом фотографических снимков, полученных в разных масштабах.

3.1. МАСШТАБ СНИМКОВ

Масштаб всякого снимка (как и любого изображения) получается из отношения длины отрезка на снимке к длине того же отрезка на местности при условии, если отрезок горизонтален. Выведем формулу масштаба горизонтального аэрокосмического фотографического

снимка. На рис. 3.1 плоскость T представляет собой фотографируемую земную поверхность, а P — плоскость снимка. Точка S является центром проекции (объектив фотоаппарата), а точка o — геометрическим центром снимка (главная точка снимка). Линия SO — оптическая ось фотоаппарата. По условию она вертикальна и перпендикулярна плоскостям T и P . Расстояние от плоскости снимка до центра проектирования есть фокусное расстояние объектива f . Расстояние от объектива до земной поверхности есть высота фотографирования H .

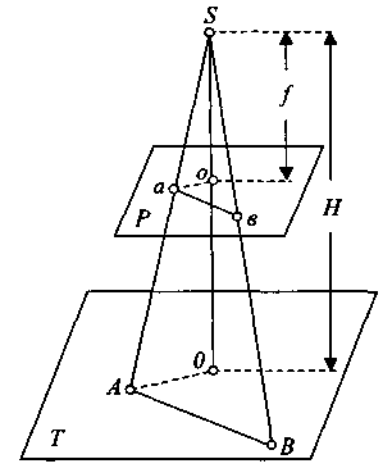


Рис. 3.1. К определению масштаба горизонтального снимка.

Возьмем на фотографируемой плоскости T отрезок прямой AB . В плоскости снимка ему будет соответствовать отрезок ab . Согласно определению масштаб снимка равен

$$\frac{ab}{AB} = \frac{1}{m}. \quad (3.1)$$

Рассмотрим треугольники ABS и abS и треугольники oas и OAS . Они подобны друг другу, так как стороны oS , aS и bS совпадают со сторонами OS , AS , BS , а стороны ab и ao параллельны сторонам AB и AO . Из подобия треугольников следует, что

$$\frac{ab}{AB} = \frac{aS}{AS} = \frac{oS}{OS} = \frac{f}{H}. \quad (3.2)$$

Приравняв правые части равенств (3.1) и (3.2), получим формулу для определения масштаба горизонтального фотоснимка:

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H}.$$

Из формулы видно, что масштаб горизонтального фотоснимка зависит от соотношения фокусного расстояния объектива фотокамеры и высоты фотографирования. Величина фокусного расстояния постоянна для данного аппарата. Высота фотографирования сохраняется практически неизменной только при съемке равнины. При съемке рельефной местности, холмистой или, тем более, горной, масштаб изображения в пределах каждого снимка и группы снимков неодинаков.

Из формулы также видно также, что при заданном масштабе высота фотографирования возрастает при увеличении фокусного расстояния объектива фотокамеры. С другой стороны, при постоянной высоте съемки масштаб снимков тем мельче, чем меньше фокусное расстояние камеры.

На снимках, полученных сканированием в виде полосы, например снятых щелевой фотокамерой, изображение строится по законам, отличным от обычной фотографии.

Масштаб радиолокационных снимков определяется параметрами съемочной аппаратуры и не зависит от высоты полета. Масштаб телевизионных снимков связан с высотой фотографирования и параметрами передающей и принимающей аппаратуры. Геометрические свойства телевизионных снимков, полученных способом покaдровой съемки, в целом близки к фотографическим снимкам. Их масштаб зависит от фокусного расстояния объектива оптической головки бортового аппарата.

На практике нередко возникает задача определения масштаба снимков. Он может быть определен несколькими способами и с разной точностью. Если известно фокусное расстояние камеры и высота съемки, то масштаб фотоснимка находится по приведенной выше формуле. Она выведена для случая горизонтальной съемки, но может быть использована без большой ошибки для вычисления масштаба плановых снимков.

Масштаб снимков может быть также получен из отношения длины отрезка на снимке l к длине того же отрезка в натуре L :

$$\frac{1}{m} = \frac{l}{L}.$$

Для этой же цели можно использовать карту и подсчитать масштаб по формуле

$$\frac{1}{m} = \frac{l_c}{l_k m_k},$$

где l_c и l_k — длины отрезков на снимке и карте, а $\frac{1}{m_k}$ — масштаб карты.

Относительная ошибка определения масштаба всеми тремя способами может быть представлена таким образом:

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta l}{l} = \left(\frac{\Delta l_c}{l_c} + \frac{\Delta l_k}{l_k} \right).$$

В первом способе точность определения масштаба целиком зависит от точности определения высоты фотографирования. Если высота определялась в полете с помощью радиовысотомера, погрешность невелика, примерно 1,5 м. Точность определения высоты фотографирования по барометрическому высотомеру мала. Высота съемки в 1000 м определяется этим способом с ошибкой до 50 м, откуда относительная ошибка определения масштаба может достичь 5%.

Во втором способе ошибка определения масштаба, очевидно, будет тем меньше, чем длиннее выбран отрезок, так как ошибка измерения отрезка l постоянна и равна примерно 0,2 мм. Однако невыполнимым становится измерение длины того же отрезка в натуре, особенно, если он взят очень протяженным. Удобно, когда это возможно, отрезок брать между геодезическими пунктами с известными координатами и вычислять натуральную его длину из обратной геодезической задачи.

В третьем способе точность определения масштаба складывается из точности определения длин отрезков на карте и на снимке. Очевидно, что ошибка определения масштаба будет наименьшей, если карты и снимки имеют равный масштаб.

В последних двух случаях ошибки возникают также по причине внутренней разномасштабности изображения из-за влияния рельефа и наклона снимков и др. Чтобы ошибки были минимальными, следует выбирать на снимке и карте отрезки, проходящие через центры снимка в разных направлениях, и определять масштаб неоднократно.

3.2. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПЛАНОВОГО СНИМКА

Фотоснимок получается в результате центрального проектирования местности на плоскость. Проектирование всех точек объекта съемки (местности) на картинную плоскость (плоскость снимка) осуществляется с помощью пучка лучей, исходящих из центра проектирования (объектива).

Рассмотрим элементы центральной проекции и введем обозначения характерных линий и точек (рис. 3.2).

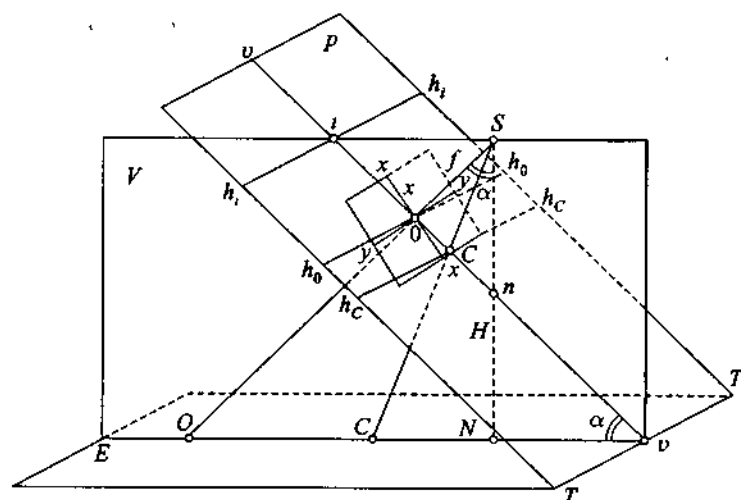


Рис. 3.2 Особые плоскости, линии и точки центральной проекции

Центром проекции является (приблизительно) центр объектива — S , а плоскость P является картинной плоскостью, которой принадлежит плоскость снимка. Главный луч, или оптическая ось объектива SO , располагается перпендикулярно плоскости снимка, а $So=f$, т. е. главному расстоянию камеры, или фокусному расстоянию объектива АФА. Точка o — главная точка снимка, его геометрический центр. Он находится в пересечении линий, соединяющих координатные метки по сторонам кадра. Плоскость E есть некоторая уровенная поверхность Земли, или предметная плоскость. Предметная и картинная плоскости пересекаются по линии TT , которая называется осью перспективы. Проведем перпендикуляр SN к плоскости E — это расстояние называется высотой съемки и обозначается H . Плоскость V проходит через главный луч SO и называется плоскостью главного вертикала. Линия пересечения плоскости V с плоскостью снимка P называется главной вертикалью vv .

Линия h_0h_0 , проходящая через главную точку снимка перпендикулярно к главной вертикали, называется главной горизонталью. Параллельная ей линия h_1h_1 , которая получается в пересечении плоскости снимка P с горизонтальной плоскостью, проведенной через центр проекции, называется линией горизонта. Она не совпадает с изображением на снимке видимого горизонта из-за кривизны Земли и влияния рефракции, а также неровностей поверхности Земли.

На главной вертикали, кроме главной точки снимка O , отмечается еще ряд характерных точек. На пересечении главной вертикали с линией горизонта размещается точка i — главная точка схода всех прямых линий местности, параллельных линии направления фотографирования OCN . От главной точки снимка o главная точка схода находится на расстоянии $oi = f \operatorname{tg} \alpha$, где α — угол наклона снимка, или угол наклона оптической оси.

Точка надира n отмечается на пересечении плоскости снимка с отвесной линией SN . Она является на снимке точкой схода всех вертикальных линий местности и отстоит от главной точки снимка o на расстоянии $on = f \operatorname{tg} \alpha$.

На пересечении биссектрисы угла наклона оптической оси с главной вертикалью находится точка нулевых искажений c . Все углы на местности, имеющие вершину в точке нулевых искажений, равны соответствующим углам на снимке. Расстояние точки нулевых искажений от главной точки снимка $oc = f \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$. Горизонталь h_ch_c , проходящая через точку нулевых искажений c , называется линией нулевых искажений, или линией неискаженного масштаба.

В общем случае съемки, координатные оси снимка, развернуты по отношению к линии главного вертикала на угол γ , называемый углом поворота снимка. При малых углах наклона снимка линия горизонта уходит далеко за пределы снимка, а точка нулевых искажений и точка надира располагаются вблизи от главной точки снимка. На строго горизонтальных снимках обе точки совпадают с главной точкой снимка.

3.3. ИСКАЖЕНИЯ СНИМКОВ ИЗ-ЗА НАКЛОНА ОПТИЧЕСКОЙ ОСИ. ТРАНСФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

При наклоне оптической оси по отношению к местности изображение на снимке искажается из-за возникающей разномасштабности. Разномасштабность изображения приводит к деформации форм контуров. При значительном наклоне снимков возникает заметная на глаз перспективность изображения.

Масштаб, равный отношению фокусного расстояния объектива камеры к высоте фотографирования, на наклонном снимке сохраняется только вдоль линии неискаженных масштабов h_ch_c , которая включает в себя точку нулевых искажений c . Вдоль других линий, параллельных h_ch_c , масштаб сохраняется постоянным, но отличным от неискаженного и всюду разным. Вдоль всех линий, секущих линии hh , масштаб бу-

дет переменным. В связи с этим возникают перспективные искажения размеров и форм контуров, как это показано на рис. 3.3. Искажения из-за наклона фотоснимков исправляются трансформированием, одновременно с которым изображение приводится к нужному масштабу.

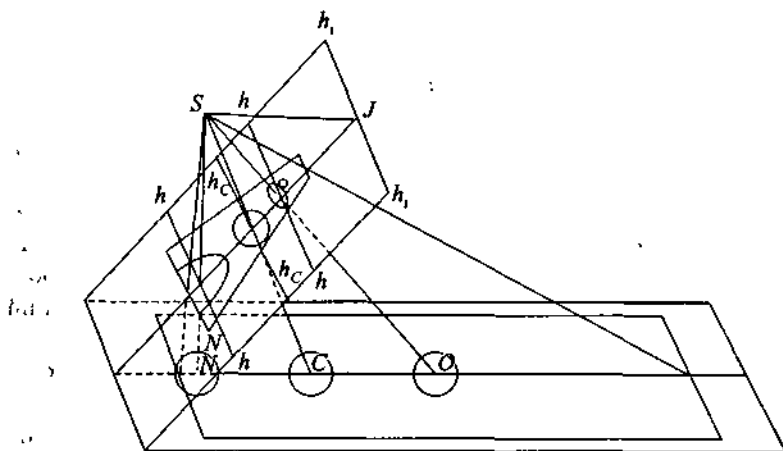


Рис. 3.3. Искажение форм и размеров контуров на наклонном аэроснимке.

Графическое трансформирование выполняется по перспективным сеткам. Пользуясь законами проективной геометрии, можно построить перспективные сетки различными способами: по опорным точкам или по элементам ориентирования.

Один из способов построения перспективных сеток по ориентирным точкам состоит в следующем (рис. 3.4). На топографической основе (карте или планшете) находятся или наносятся по координатам четыре точки A, B, C и D ; на снимке отмечают соответствующие им точки a, b, c и d . Точки соединяются прямыми линиями, образующими четырехугольник.

Противоположные стороны четырехугольника на снимке делятся на равное число частей и соединяются прямыми линиями. Отмечаются средние точки сторон четырехугольника на снимке r, r_1, l, l_1 и находятся соответствующие им точки на планшете R, R_1, L, L_1 . Для этого из точки d на снимке проводятся направления на точки r, b и l . Получается пучок лучей. Теперь на планшете проводится диагональ DB , и, опираясь на нее и стороны AD и CD , находятся точки R и L . На пучок лучей $arblc$ накладывается полоска бумаги mn , по краю которой отмечают следы лучей. Полоска переносится на основу и

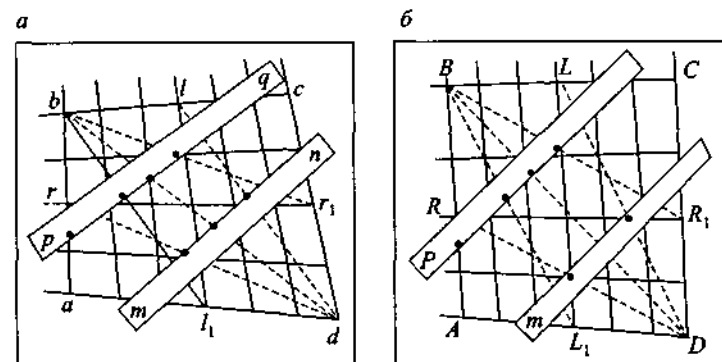


Рис. 3.4. Построение перспективной сетки по ориентирным точкам
а — снимок; б — планшет

располагается таким образом, чтобы следы лучей da, db и dc совпали с лучами DA, DB, DC . Затем отмечают следы лучей dr и dl . Через эти отметки и точку D проводятся лучи DR и DL . Теперь за центр принимаются точки B и b , и операция повторяется; так отыскиваются лучи BL_1 и BR_1 и точки L_1 и R_1 .

Этим же способом с помощью полоски бумаги pq отыскиваются точки R и L на основе. Для того, чтобы перерисовка по клеткам не вносила больших ошибок, сетку следует строить достаточно мелкую. Существуют также иные, более и менее простые способы построения перспективных сеток по точкам опоры и элементам ориентирования.

Фотомеханическое трансформирование снимков выполняется на фототрансформаторах, которые напоминают устройством большие фотоувеличители, но в отличие от них имеют приспособление для наклона экрана и негатива, а также систему автоматического соблюдения резкости изображения (рис. 3.5).

В кассету трансформатора закладывается негатив трансформируемого снимка, на котором распознаются и накальваются трансформационные точки. Эти точки могут быть получены путем геодезической привязки снимков непосредственно на местности или по карте. Точки (так называемые плановые опознаки) распознаются путем прямого полевого сличения снимка с местностью и затем накальваются на негативе. Эти же опознаки по координатам, полученным непосредственно в поле, наносятся в масштабе трансформирования на планшет — основу. Если используется карта, то опорные точки распознаются на ней и снимках и перекальваются на негатив.



Рис. 3.5. Фототрансформатор автоматизированный ФТА (Беларусь). 1 — станина; 2 — экран; 3 — кассета с негативом; 4 — объектив; 5 — осветитель.

Опознаков должно быть четыре на каждом снимке. Размещаются они по направлениям из центра снимка к углам, примерно на две трети расстояния.

Основа с нанесенными точками размещается на экране, на который проецируется изображение с негатива. Изменяя наклон экрана и расстояние между негативом и экраном, наблюдатель добивается совпадения проецируемых опорных точек с нанесенными на планшет (рис. 3.6). Затем на экране вместо планшета кладется лист фотобума-

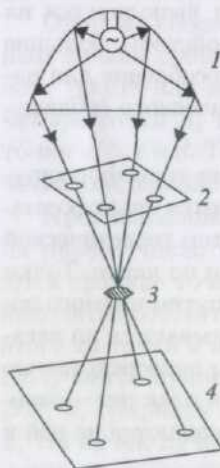


Рис. 3.6. Схема фототрансформирования. 1 — осветитель; 2 — негатив; 3 — объектив; 4 — планшет.

ги; он экспонируется и после проявления получается трансформированный снимок.

При значительном рельефе местности трансформирование становится затруднительным, что требует другой методики трансформирования, о чем будет рассказано в следующем параграфе.

3.4. ИСКАЖЕНИЯ СНИМКОВ ИЗ-ЗА РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ. ОРТОТРАНСФОРМИРОВАНИЕ

Под влиянием рельефа на снимках возникают линейные смещения изображения. На плановых фотоснимках эти смещения происходят в направлении к точке надира или от нее. Аналогичное смещение из-за рельефа есть и на телевизионных снимках. На радиолокационных и тепловых снимках, сканированных в виде полос, и на фильмах, снятых целевой камерой, смещение точек местности из-за рельефа возникает в направлении, перпендикулярном трассе полета. Благодаря такому смещению вертикальные объекты, как, например, деревья, холмы и горы, строения на краях снимков видны сбоку и кажутся падающими (рис. 3.7).

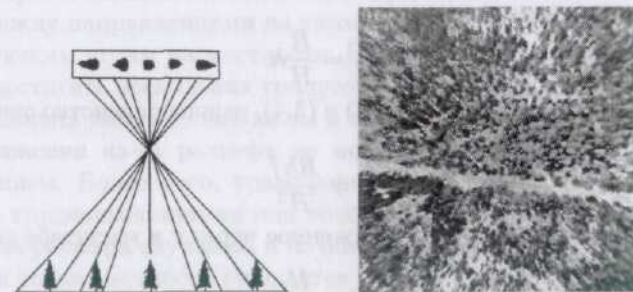


Рис. 3.7. Изображение деревьев в разных частях аэроснимка.

Геометрическое представление о влиянии рельефа можно получить из чертежа (рис. 3.8). На чертеже показано, что ортогональная проекция точки *A* на плоскость *T* смещена относительно луча проецирования. Величина смещения может быть определена из пропорции

$$\frac{\delta_h}{\Delta_h} = \frac{f}{H},$$

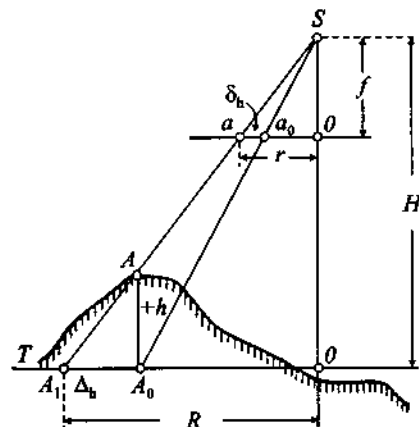


Рис. 3.8. Линейные искажения, вызванные рельефом местности

отсюда

$$\Delta_h = \frac{\delta_h H}{f}. \quad (3.3)$$

Из подобия треугольников A, A_1, A_0 и A_1, S, O следует

$$\frac{\Delta_h}{h} = \frac{R}{H}.$$

Отсюда найдем

$$\delta_h = \frac{R}{H} h. \quad (3.4)$$

Приравняв правые части (3.3) и (3.4), решим равенство относительно δ_h

$$\delta_h = \frac{R h f}{H^2}.$$

Подставим значение R , выраженное через r в масштабе снимка

$$R = \frac{H}{f} r$$

и получим окончательно

$$\delta_h = \frac{h}{H} r,$$

где r — расстояние от главной точки снимка до данной точки.

Если ошибка из-за влияния рельефа меньше 0,2 мм, то на практике ею пренебрегают, поскольку такова же точность графических построений. Часть снимка, в пределах которой ошибка из-за рельефа не превышает 0,2 мм, называется полезной площадью снимка.

Вычислим радиус полезной площади аэроснимка, полученного для местности с максимальными превышениями рельефа 10 м, если съемка выполнена с высоты 1000 м:

$$r = \delta_h \frac{H}{h} = 0,2 \text{ мм} \frac{1000 \text{ м}}{10 \text{ м}} = 2 \text{ см}.$$

В пределах полезной площади, если нет других искажающих факторов, снимок может быть принят за план, на котором формы плоских объектов не искажены, а размеры соизмеримы. На аэроснимках горных районов, полученных с малых высот, когда сдвиг из-за влияния рельефа, а также разномасштабность изображения достигают значительных величин, формы и соотношения размеров объектов получают искаженными.

Поскольку радиус полезной площади ограничен размерами снимков, основным фактором и показателем искажающего влияния рельефа является отношение $\frac{h}{H}$. Очевидно, что на крупномасштабных снимках, снятых с малых высот, даже холмистый рельеф получается заметно искаженным из-за сдвига изображения. В то же время, на мелкомасштабных космических снимках смещение изображения из-за рельефа практически незаметно.

Вследствие влияния рельефа, а также углов наклона оптической оси камеры, возникают искажения направлений на снимках. Поэтому углы между направлениями на снимках становятся не равными соответствующим углам на местности. На краях снимков эти искажения могут достигать нескольких градусов, но в пределах полезной площади искажения направлений малы и не учитываются.

Искажения из-за рельефа не исправляются простым трансформированием. Более того, трансформирование снимков горной местности — трудновыполнимая или вовсе невыполнимая задача. Искажения из-за рельефа случайны и не описываются строго математически. Каждая точка местности смещается на свою величину, и трансформирование возможно только с учетом индивидуального (дифференцированного) смещения всех точек изображения.

Дифференциальное трансформирование снимков стало возможным, когда были сконструированы и изготовлены ортофототрансформаторы (трансформаторы с щелевым устройством) или ортофотопроекторы. Дифференциальный способ трансформирования основан на принципе проектирования изображения трансформируемого снимка малыми участками, в пределах каждого из них различия в искажениях не учитываются.

нием 80 мм:

$$r = \sqrt[3]{\frac{2R\delta_k f^2}{H}} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 6370 \cdot 0,2 \cdot 6400}{200}} = 4,3 \text{ см.}$$

Интересно также знать предельную высоту съемки, при которой на снимках практически не возникают ошибки из-за кривизны поверхности Земли. Определим предельное значение H при условии, что съемка производится камерой с фокусным расстоянием объектива 100 мм, радиус полезной площади снимка должен быть равен 50 мм, а искажения из-за кривизны поверхности Земли не должны превышать 0,2 мм:

$$H = \frac{2R\delta_k f^2}{r^3} = \frac{2 \cdot 6370 \cdot 0,2 \cdot 10000}{125000} \approx 200 \text{ км.}$$

Следует заметить, что, стремясь укрупнить масштаб космических снимков и увеличить детальность изображения, специалисты используют камеры со значительно большим фокусным расстоянием, например, 1000 мм (КФА-1000 и др.).

Искажения из-за кривизны поверхности Земли не могут быть исправлены трансформированием, поскольку нельзя развернуть на плоскости поверхность шара без сжатий и растяжений. На космических фотографиях поверхность Земли изображается во внешней перспективной проекции. Исправление снимков от перспективности изображения к краям можно рассматривать как преобразование одной проекции в другую. Это одна из задач компьютерной обработки данных дистанционного зондирования, которая входит в операции по геометрической коррекции снимков.

3.6. ТЕХНИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ИСКАЖЕНИЙ СНИМКОВ

Технические искажения изображений на снимках определяются параметрами съемочной аппаратуры и условиями ее эксплуатации. Техническими факторами являются: абберации объектов, дисторсия, плохое выравнивание пленки, большая скорость полета при фотографической съемке, асинхронность и асинфазность в приемопередающей аппаратуре при фотоэлектронной съемке, а также колебания, вибрация и вращение аппарата при всех видах съемок.

При больших скоростях полета и длительной выдержке возникает смаз фотоизображения. За некоторый отрезок времени t аппарат перемещается на величину Wt , где W — скорость полета. За то же время

каждая точка изображения сместится на отрезок δ_w , который вычисляется по формуле

$$\delta_w = \frac{1}{m} Wt = \frac{f}{H} Wt.$$

Можно подсчитать допустимую скорость полета, приняв, что величина сдвига не должна превышать 0,02 мм. При съемке АФА с фокусным расстоянием 100 мм с высоты 3000 м и при выдержке 0,01 с предельная скорость полета получается равной 216 км/ч. Чтобы исключить смаз изображения, используется специальная установка — компенсатор сдвига, с помощью которого в момент экспонирования кассеты с пленкой придается движение, компенсирующее сдвиг изображения.

Нерезкость изображения возникает при сотрясениях, вибрации и колебаниях аппарата. Качание камеры из-за крена самолета компенсируется гиросустановкой. Вибрация корпуса самолета передается на аппарат, хотя принимаются все меры, чтобы исключить ее влияние. Величина сдвига изображения из-за вибрации невелика, но высока частота колебаний. Вибрация установки к тому же вызывает вращение камеры. Одно из достоинств съемки со спутников видят в том, что у них отсутствует вибрация, присущая самолетам.

Геометрические искажения и нерезкость изображения возникают на фотоснимках, если пленка плохо выровнена во время экспозиции. Особенность этого искажения заключается в том, что оно не распространяется на все поле снимка. В силу этого такого рода искажения не могут быть исправлены путем геометрической коррекции снимков.

Свойство оптических линз передавать прямые линии искривленными — дисторсия, учитывается при конструировании объективов до такой степени, чтобы остаточная дисторсия не сказывалась на результатах измерений. Дисторсия может оказать искажающее влияние не только на фотографические снимки, полученные непосредственно аэрофотоаппаратами, но также на любые изображения: радиолокационные, телевизионные и другие, если приемопередающая система включает линзовые объективы.

Геометрические искажения кадровых телевизионных снимков связаны в основном с нарушением синхронности и синфазности перемещения визирующего луча в передающей и приемной телевизионной аппаратуре. Эти искажения могут проявляться в виде масштабных преобразований, сужений и растяжений разных частей изображения, а также в виде перекоса, искривления изображения. Геометрические искажения на телевизионных изображениях обнаруживаются и кор-

ректируются при наличии сетки линий или крестов на трубке передающей камеры

Геометрические искажения снимков, полученных сканированием в виде полосы, например, тепловых и радиолокационных снимков проявляются в перекосе и разномасштабности изображения. За счет наклонной дальности возникает непрерывное изменение масштаба к краям съемочной полосы, а из-за рельефа нарастает перспективность к краям изображения и возникают местные искажения масштаба.

Всем снимкам, полученным методом сканирования, а также щелевыми АФА свойственны и другие искажения. Из-за несогласованности скоростей самолета и записи изображения возникает сжатие и растяжение изображения, а неучтенный снос самолета создает перекося изображения. Покачивание (крен) самолета во время съемки приводит к тому, что искривляются очертания объектов, например, прямолинейная дорога превращается в криволинейную.

Глава 4

ИЗОБРАЗИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СНИМКОВ

4.1. РИСУНОК АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Каким бы способом ни был получен воздушный или космический снимок, он представляет собой фотографически или иным способом зафиксированное изображение, обладающее определенным рисунком. Рисунок изображения передает морфологию природных комплексов, сущность которой состоит в повторяемости, связанном сочетании комплексов всех рангов, компонентов и отдельных объектов на территории ландшафтной единицы. Все природные комплексы отличаются друг от друга совокупностью внешних признаков — рисунком изображения, отчего эти признаки индивидуальны. Каждому комплексу свойствен свой набор и сочетание элементов. Однако, помимо индивидуальных черт, ландшафт сохраняет и общие признаки, позволяющие производить отождествление, сравнение, типизацию и эталонирование.

В рисунке изображения отражаются внутренние связи между компонентами ландшафта и процессы, происходящие в данном природном комплексе, а также пространственное размещение элементов. Другими словами, рисунок передает структуру ландшафтных единиц. Структура свойственна целостным системам, внутри которых связи компонентов тесны и многогранны и сильнее внешних воздействий, отчего система не разваливается, а структура сохраняет относительную устойчивость и стройность, что и передается рисунком изображения. Таким образом, структура изображения природного комплекса связана, с одной стороны, с генезисом системы, с другой — с ее функционированием.

Внешний вид местности, визуально воспринимаемый с летательных аппаратов или изображаемый на снимках, содержит в разной степени

изменчивые черты. Можно выделить три основные категории внешне-го вида ландшафтов (по В. Н. Андрееву): **облик ландшафта, аспект ландшафта и физиономичность ландшафта.**

Рисунок изображения, который получается на снимке в каждом конкретном случае, передает неповторимый облик ландшафта. Он зависит от множества факторов: условий освещения, состояния атмосферы и объекта съемки и др. Вместе с изменением времени съемки меняется и облик ландшафта на снимках. При фотографической съемке — в основном за счет изменения тонов и цветов изображения, появления или исчезновения мелких деталей. При съемке в иных зонах спектра кардинально меняется весь рисунок изображения.

Рисунок изображения, отображающий ландшафты в определенный сезон съемки, называется сезонным аспектом ландшафта. Он независим от атмосферно-оптических условий и времени суток съемки, но преобразуется при спектральной съемке. Относительно стабильные элементы рисунка изображения, независимые ни от сезона, ни от атмосферно-оптических условий съемки, составляют физиономические черты ландшафта.

Изображение на снимке создается различными по яркости и цвету объектов в интервале длин волн, регистрируемых приемником. Рисунок приобретает новые черты, как только изменяется диапазон чувствительности приемника, например, цветочувствительность пленки, или изменяется яркость объектов. Если съемка ведется на фотопленку одного типа, соотношение тонов изображения на снимках получается сравнительно устойчивым. Изменения рисунка изображения в таком случае связаны только со свойствами объектов съемки.

В рисунке изображения различаются две стороны: во-первых, — *структура*, т. е. набор элементов различных форм, размеров, тонов или цветов, участвующих в построении рисунка, и, во-вторых, — *текстура*, т. е. пространственное размещение элементов структуры, их взаимное сочетание.

На снимках можно выделить рисунки различного происхождения:

а) рисунки, образующиеся чередованием объектов с различной яркостью в видимой и других зонах спектра. Они могут отражать сложность как структуры, так и текстуры изображений. Поэтому сравнительно малоструктурные монотонные территории, например, тундра или дельты рек, на снимках нередко имеют весьма пестрое изображение со сложной текстурой;

б) рисунки, возникающие на поверхности в силу различного состояния его участков, например, увлажнения или высыхания, наводне-

ний и пожаров, нарушенности растительного покрова, следы вырубок лесов, кошения трав, уборки урожая, пахоты и др.;

в) рисунки геологических структур, а также образованные облачным покровом Земли, характерные для космических снимков;

г) рисунки, связанные с ракурсом съемки. Если местность включает объекты с различными фактурными свойствами, рисунок изображения становится зависимым от взаимного положения источника освещения (Солнца), отражающей поверхности и съемочной системы. По этой причине в различных частях снимков и на разных снимках одной и той же территории возможны самые разнообразные сочетания тонов изображения, например, водной поверхности и суши, что по «игре» тонов позволяет достоверно отделять пески от воды на перекрывающихся снимках;

д) рисунки, создаваемые на снимках рельефом местности или различиями в освещенности (светотенью).

Из всех компонентов рисунка самой неустойчивой является тоновая или цветовая структура; меньше поддается изменениям контурность, благодаря чему изображения, отличающиеся временем и техникой съемки, более или менее уверенно сопоставляются друг с другом. Изменение тональности и контурности может происходить отдельно и совместно. Фотографирование в разных зонах спектра и цветное фотографирование приводят в основном к смене гаммы тонов и цветов, не меняя существенно контурный рисунок. Но в некоторых случаях, например при съемке малоконтурных степных и полупустынных ландшафтов, с изменением зоны съемки резко меняется весь рисунок изображения.

Следует заметить, что все изменения рисунка изображения, возникающие по перечисленным выше и другим причинам, носят формальный характер. Используя различную съемочную технику, можно получить снимки, существенно различающиеся сочетаниями тонов и цветов, а также контурным рисунком. Но нельзя, снимая, например, пустыню, получить снимки тайги, так как сохраняется устойчивый набор типичных элементов рисунка (структуры и текстуры), позволяющий надежно распознать ландшафт.

Однако здесь всегда кроется некоторая опасность случайного внешнего сходства как результат смешения и обобщения признаков. Среди переплетения тонов, цветов и контуров можно «обнаружить» объекты и явления, реально не существующие, подобно тому как среди причудливых по форме облаков нам видятся человеческие профили и башни

замков. Исключить такого рода промахи можно, выбрав надежную технологию дешифрирования снимков.

Различные исследователи находили связь характерных особенностей рисунка изображения с типами природных комплексов и их происхождением. Стало очевидным, что рисунок ландшафта соответствует структуре его морфологических частей или более крупной географической единице, в зависимости от масштаба изображения. Например, на глобальных космических снимках макроструктура изображения соответствует климатическим поясам.

Первые попытки дать сводки встречающихся рисунков аэрофото-космических изображений были предприняты аэрофототопографами И. С. Подобедовым и Д. А. Богомоловым. Однако, стремясь описать каждый рисунок индивидуально, вряд ли можно исчерпать все их многообразие. Поэтому словесные перечни рисунков оказались неполными, а сами наименования рисунков — неоднозначными.

Выделяется структура — тональная или цветовая и геометрическая (контурная). Смена одних тонов или цветов другими происходит вместе с чередованием объектов с различной яркостью. Контурная структура определяется конфигурацией, формой границ, разделяющих элементы тональной структуры. Сочетание линий и точек, заметно контрастирующих с общим фоном, образует контурный узор.

Контурность всегда сопутствует тональной структуре, но тональная структура может быть практически безконтурной, если одни тона или цветовые оттенки плавно переходят в другие, не образуя четких границ. В большинстве случаев тональность и контурность образуют единый рисунок. Однако встречаются и такие природные объекты, в изображении которых основную роль играет либо тональная структура, либо контурная.

Структура и текстура характеризуют изображения с разных сторон. При сравнительно простой структуре его текстура может быть довольно сложной. Например, рисунок тундр, дельт рек на снимках очень пестрый, но в натуре эти места однообразны. Сложность текстуры в этом случае свидетельствует лишь о пространственной раздробленности объектов, но не о компонентной сложности природного комплекса.

Таким образом, любому природному комплексу свойственны как бы разные сложности. Сложность системы по набору компонентов подчеркивается структурой, а сложность из-за раздробленности компонентов передается текстурой рисунка изображения. В известной степени структура характеризует содержательное разнообразие природ-

ного комплекса, а текстура — геометрическое разнообразие его изображения на снимках.

Существенной особенностью рисунка изображения природных объектов является отсутствие строгой геометрической закономерности, правильности в его построении, в частности асимметрия составляющих рисунок элементов. Однако изображения некоторых природных объектов обладают (в разной степени) признаками симметричных построений (фигур). Так, изображение вихря на космических снимках близко к архимедовой спирали, а ячеистые, барханные и грядовые пески в пустыне и морозобойная трещиноватость в тундре образуют закономерные сочетания геометрических элементов (узорчатые и сетчатые орнаменты). Такое изображение воспринимается как симметричное даже тогда, когда ясно видно отличие от математически строгого идеала. Признаки симметрии сильнее всего проявляются в изображениях, состоящих из структурно-текстурных элементов более или менее периодически чередующихся относительно сближенных в пространстве, образующих систему элементов. Примерами являются песчаные гряды в пустыне, мочажины на болотах и др.

Каждый рисунок содержит множество мелких деталей, точная фиксация и учет которых при анализе рисунка невозможны, да и не нужны. Целесообразно свести сложный рисунок к более простому, который может быть характеризован сравнительно небольшим числом параметров.

Описывая рисунок изображения, чаще всего стремятся подобрать к реальному изображению математически строго определенный аналог. Это позволяет обойтись конечным числом типичных орнаментов, рисунков, точно их описать и тем самым подойти к решению задачи распознавания образов по эталонам. Система геометрических параметров может служить основой для объективизации и автоматизации распознавания объектов на снимках. Насколько детальной для этого должна быть система параметров и насколько избранная геометрическая модель должна быть похожей на оригинал, зависит от целей исследования. Так, изображение фруктового сада на аэроснимках можно описать как ряды кружков, но можно и подобрать для изображения крон деревьев более близкую геометрическую фигуру.

За исходные геометрические элементы изображения удобно принимать точки и линии, а также производные от них полосы и пятна различной величины и формы. На основе их сочетания построена морфологическая классификация рисунков аэрокосмических изображений, приведенная в табл. 4.1.

Таблица 4.1 Морфологическая классификация рисунков аэрокосмических изображений

Исходный элемент	Класс текстуры	Вид текстуры	Объекты
Точка (пятно)	Цепочечная	Параллельная	Ряды деревьев вдоль дорог, домов вдоль улиц, кустов по меже, гряды кучевых облаков на космических снимках
		Веерообразная	Цепи кустов в пойме реки
	Регулярная	Концентрическая	Цепочки озер на верховых болотах
			Сады, ягодники, дома в населенных пунктах с квартальной застройкой
	Мозаичная, геометрически правильная		Следы уборки урожая, населенные пункты, огороды
		Пятнистая	Пятнистая, бугристая тундра, карст
	Мозаичная, геометрически неправильная	Окружно-пятнистая	Суффозиозные западины, яченстые пески
		Овально-пятнистая	Лунковые и бугристые пески, озерные террасы, камовые ландшафты
		Яченстая	Тақыры
		Сложно-пятнистая	Кустарники по лугам, моренно-холмистые ландшафты

Линия (полоса)	Линейная	Прямолинейная	Дороги, каналы, следы уборки урожая, сети осушительных канав на торфоразработках и др.
		Искривленная	Дороги, геологические пласты, трещиноватость, реки, линии потоков и др. Песчаные валы, гряды, дюны на воздушных и космических снимках
		Веерообразная-криволинейная	Следы солифлюкции, конусы выноса и дельты рек, расходящаяся сеть дорог, арыки
		Древовидная-прямолинейная	Сеть оросительных и осушительных канав
		Древовидная-искривленная	Сеть рек, ручьев и овражная сеть
		Дугообразная и кольцеобразная	Сеть стариц в поймах рек, спиральи облаков на космических снимках; геологические структуры, барханные пески
		Решетчатая	Морозобойная трещиноватость, трещины на скальных грунтах (граниты), сеть просек в лесу
	Сплошная-полосчатая	Параллельная-прямолинейная	Пахота, торфоразработки, ряды строений, регулярные вырубки, сады, чайные плантации, виноградники
		Параллельная-искривленная	Геологические пласты, солончаки, ледники, пахотные земли, песчаные отмели и наносы
		Веерообразная-концентрическая и кольцевая	Конусы выноса, дельты рек Спиральи облаков, грядово-мочажинный комплекс на болотах, следы кошения трав и уборки урожая, террасированные поля

4.2. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБОБЩЕНИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В результате съемки перед потребителем предстает изображение, обобщенное по законам, во многом отличным от правил картографической генерализации. Такую генерализацию стали называть «естественной» в противоположность картографической, которой присуща заданность, т. е. «искусственность». Однако деление генерализации на естественную и картографическую есть классификация по разным основаниям. Правильнее различать *генерализацию картографическую* и *фотографическую*. Это тем более верно, что при съемке любыми способами в конце концов получается фотографически зафиксированное изображение, и закономерности обобщения снимков, полученных фотографическими кадровыми и электронными сканирующими системами, в общем одинаковые.

Картографическая и фотографическая генерализации различаются прежде всего тем, что первая выполняется графически вручную, а вторая осуществляется оптико-механически. Если особенность одной, образно говоря, заданность результата (по принципу «как надо»), то свойство другой — произвольность («как получится»). Поэтому все рекомендации по выбору масштаба снимков носят весьма приблизительный характер.

Если при картографической генерализации чаще всего сначала определяется уровень содержательного обобщения, а затем, как следствие, задается степень формального обобщения, то при фотографическом обобщении ведущими являются формальные изменения контурной и тоновой (цветовой) структуры изображения, зависящие в первую очередь от масштаба съемки и разрешения съемочной системы и фотографических материалов. Содержательная же генерализация следует за формальной.

Именно из-за этого отличаются друг от друга космические снимки и соответствующие им по масштабу карты, особенно тематические. Некоторые специалисты различие между снимками и картами объясняют тем, что при фотографическом обобщении осуществляется преимущественно интеграция изображения, тогда как при картографической генерализации производится также «селектирующая» и «стимулирующая» генерализация, т. е. отбор элементов содержания и утрирование изображения.

В действительности отбор и утрирование изображения присущи и фотографическому обобщению, но только прodelываются они фор-

мально, механически. Более того, некоторые стороны формальной интеграции, характерные для фотографий, копируются в приемах картографической генерализации, отчего на тех же космических снимках и картах, даже очень мелких масштабов, совпадают в общем очертании материков, контуры островов и озер, конфигурация речной сети и др.

Исследование закономерностей фотографического обобщения представляет научный и практический интерес, поскольку их постижение открывает возможность выбора аэрокосмических снимков такого уровня обобщения, который наилучшим образом отвечал бы задаче картографирования конкретных объектов и явлений. Кроме того, это позволяет более результативно и целенаправленно преобразовать и фильтровать аэрокосмические изображения.

В сравнительно немногочисленных работах в этой области наметились два пути решения задачи: во-первых, закономерности обобщения аэрокосмических снимков исследовались на основе моделирования и анализа оптико-механического и физико-технического процессов образования фотографического изображения (Г. Б. Гонин и др.), во-вторых, закономерности обобщения устанавливались прямыми наблюдениями за генерализацией отдельных элементов (компонентов) или структуры изображения в целом при сравнении снимков разных масштабов или сопоставлении снимков и карт (В. И. Кравцова, Л. Е. Смирнов).

Оба подхода, которые можно условно назвать теоретическим и эмпирическим, в равной степени возможны и полезны. Второй путь, который, по существу, есть не что иное, как хорошо знакомый метод «черного ящика». Не всегда в полной мере известен механизм обобщения изображения, но можно определить, как и насколько обобщается изображение в зависимости от фиксированных внешних факторов: масштаба, способов съемки, канала регистрации и др.

Уровень генерализации оценивается по обобщению либо форм, либо содержания, и может быть описан количественно и качественно. В соответствии с этим, изучая фотографическую генерализацию, можно опираться или на элементарные свойства объектов, непосредственно отображающиеся на снимках: форму, размер, тон (цвет), и производные от них: структуру и текстуру рисунка изображения, или базироваться на понятиях, отображающих содержание снимка.

Накопленный опыт работы со снимками, особенно в аэрофототопографии, и результаты специальных исследований пока что не дают возможности сформулировать общее единое правило или закон

обобщения изображения на аэрокосмических фотографиях. Тем не менее установлены некоторые закономерности фотографической генерализации, которые заключаются в последовательности, прогрессивности, избирательности, дискретности и иерархичности обобщения.

Последовательность обобщения заключается в том, что оно происходит по правилам отсечения и объединения деталей в более общие части изображения в порядке их крупности. Таким же образом поступают при составлении карт, чем и объясняется сходство очертаний на снимках и картах.

Прогрессивность — неравномерное уменьшение или увеличение размеров контуров при изменении масштаба снимков. Объекты малых размеров реагируют на колебания масштаба слабее, чем крупные. Поэтому, например, визуально обнаружить разномасштабность разных частей изображения затруднительно, если рисунок фотоизображения образован «мелкими» элементами.

Избирательность — выборочное обобщение элементов изображения в зависимости от их формы, оптического контраста и других факторов. Она пока не поддается строгому теоретическому описанию, поэтому для потребителя снимки всегда несут черты случайности, хотя накопленный опыт позволяет вывести некоторые общие правила. Известно, например, что линейные и контрастные объекты и контуры правильной геометрической формы в отличие от точечных, малоконтрастных и нерегулярных форм достаточно устойчиво сохраняются на снимках разных масштабов. Поэтому на космических снимках порой неразличимы целые города, но вполне отчетливо передаются соединяющие их дороги и др.

Дискретность — попеременное действие в механизме фотографической генерализации двух процессов: уменьшение элементов рисунка изображения и обобщение. Если всю совокупность элементов рисунка изображения можно было расположить в единый непрерывный ряд по крупности, то процесс обобщения происходил бы плавно. К тому же все элементы имели бы одинаковую форму, никаких перестроек изображения не происходило бы, сам процесс обобщения был бы просто незаметен. На самом деле с изменением масштаба ведущая роль принадлежит то уменьшению объектов изображения, то обобщению; в результате накопления количественных изменений возникают качественные скачки. Дискретность процесса обобщения была первоначально обнаружена и выражена количественно при изучении береговой линии морей на космических снимках, а затем при системном

картографировании растительности. Она была отмечена также геологами.

Дискретный, ступенчатый характер обобщения изображения на снимках, а также на картах, порождает так называемый «эффект фрактальности». Сущность его в том, что при измерении длин нерегулярных кривых линий и площадей ареалов на разномасштабных снимках (или картах) получаемые результаты не обязательно будут находиться в том же соотношении, как и масштабы снимков. Однако существуют и другие причины расхождений. Например, ею может служить внутренняя разномасштабность из-за влияния наклона снимков и рельефа местности.

При переходе от крупномасштабных изображений к мелкомасштабным за счет исчезновения мелких деталей длины линий уменьшаются, площади же ареалов могут изменяться в меньшую и большую сторону в зависимости от характера ограничивающих их контуров. Этот эффект тем заметнее, чем больше нерегулярность кривой или сложнее конфигурация очертаний площади. Фрактальная размерность D может быть подсчитана по формуле Хаусдорфа-Бесиковича: $D = \lg \left(\frac{n_2}{n_1} \right) / \lg \left(\frac{S_1}{S_2} \right)$, где S_1 и S_2 — шаг измерителя, а n_1 и n_2 — число таких шагов.

Если измеряемая кривая гладкая, то уменьшение вдвое раствора циркуля или масштаба изображения потребует удвоения числа шагов и $D = 1$. В действительности в общем случае этого не произойдет. Таким образом, определение D позволяет количественно оценивать уровень генерализации изображений.

Иерархичность обобщения связана со структурой и текстурой изображения на снимках, а последние, в свою очередь, отображают строение природных систем. Если бы все элементы рисунка изображения и сами рисунки были эквивалентны, то существовал бы единственный масштаб, в котором все объекты съемки передавались бы наилучшим образом. Однако это не так. Монорисунок на снимке практически встречается очень редко. Он всегда сложен и содержит целую иерархию структур и текстур. Обращает на себя внимание, прежде всего, сложный композиционный характер рисунка. Внутри выделенного объекта можно обнаружить микроструктуру, и в то же время сам он может являться элементом, подструктурой более сложного объекта. Рисунок изображения напоминает набор «матрешек», которые вложены одна в другую, но каждая из них имеет свой рисунок, свои индивидуальные черты. Поэтому при переходе от крупных масштабов к мелким, от аэроснимков к космическим снимкам происходит не непре-

рывная потеря деталей и обеднение изображения, а перестройка его рисунка, смена одних структур и текстур другими. Появляются новые рисунки, часто неожиданные, как это было, например, со следами блуждания русел рек на аэроснимках или рисунков песчаных пустынь на космических фотографиях. Именно поэтому мелкомасштабные космические снимки оказываются столь же полезными, как и аэроснимки, но содержание их иное, и задачи по ним решаются другие, другой «масштабности», т. е. другого уровня обобщенности. Примером может служить «просвечивание» геологических структур на космических снимках.

Иерархичность изображения заключается также в том, что каждому объекту, элементарному или сложному, соответствует в шкале масштабов своя область оптимальных значений. С изменением масштаба съемки происходит перестройка изображения, при этом обнаруживаются рубежи, в которых происходит существенная смена рисунка: исчезают одни объекты, но появляются другие, более высокой или низкой степени сложности. Одни рисункообразующие компоненты отходят на второй план, другие становятся основными. Так, ведущая роль в формировании рисунка переходит к растительности, от нее — к рельефу и от рельефа — к элементам гидрографической сети. Вместе с тем происходит и смена основных индикаторов, используемых при косвенном дешифрировании.

Итак, уровень обобщения каждого конкретного изображения связан с масштабом, но, кроме того, зависит от разрешения съемочной системы. По этому показателю можно выделить несколько уровней организации структуры аэрокосмических изображений.

А. Нижний формальный уровень разрешения: зернистость (гранулярность) или строчность изображения, полученного фотографическими или фотоэлектронными системами. Изображение на этом уровне распадается на элементарные составляющие — пиксели. Эта субструктура сама по себе бессодержательна, но определяет информационную емкость снимков.

В₁. Уровень разрешающей детали, рассчитываемый опытным путем. Разрешающая деталь определяется размерами наименьших объектов, которые еще могут изобразиться на снимках, быть обнаруженными при дешифрировании, но из-за недостатка прямых признаков быть распознанными только косвенно. Разрешение фотографических снимков составляет в среднем $10\text{--}12\text{ мм}^{-1}$. Размеры разрешающей детали равны примерно $0,05\text{ мм}$. Отсюда следует, что натуральные размеры объектов, которые могут изобразиться на фотографиях, составля-

ют в масштабе $1:10\,000$ — $0,5\text{ м}$, в масштабе $1:100\,000$ — 5 м . На космических снимках, полученных камерой МКФ-6М, разрешение зависит от зоны спектра — от 20 до 60 мм^{-1} , что в масштабах съемки с орбитальной станции «Салют» соответствует разрешению на местности $17\text{--}48\text{ м}$. Для снимков, сделанных камерой КАТЭ-140, разрешение — 40 мм^{-1} , что в масштабах съемки с космического корабля «Союз» составляет в натуре 30 м . Сканирующие оптико-механические системы («Метеор», «Фрагмент») обеспечивают разрешение от 80 до 480 м в зависимости от спектрального канала. Оптико-электронные сканеры (СПОТ) дают снимки с разрешением на местности $20\text{--}10\text{ м}$.

В₂. Уровень разрешения детали, при котором передается форма объекта и, следовательно, возможно его прямое распознавание. Это уровень, на котором мельчайшие элементы изображения имеют смысл, а все изображение истолковывается как содержательное. Исследования показали, что для надежного распознавания объектов необходимо, чтобы их размеры превышали значения детализирующей способности аэрокосмического изображения примерно в пять раз. Однако уровень прямого распознавания существенно зависит от формы элементов, характера местности в целом и, разумеется, масштаба снимков.

В₁. Предельный уровень графического выделения, т. е. уровень, на котором распознанные объекты могут быть непосредственно переданы графически. В картографии он составляет: для линий — 1 мм , для площадных объектов — 4 мм^2 . Однако эти предельные возможности, особенно при тематическом картографировании по снимкам, используется далеко не всегда, и объекты выделяются с большим графическим обобщением.

В₂. Оптимальный уровень графического обобщения, позволяющий при выделении минимальных по размерам объектов сохранять наглядность и читаемость картографического изображения.

В₃. Реальный уровень графического обобщения, соответствующий масштабу создаваемой карты и ее назначению, зависящий также от соотношения масштабов снимков и карты. Для разных по содержанию карт он различен и должен быть определен во время редакционной подготовки.

В₄. Уровень, на котором можно выделить графически максимально крупные объекты, непосредственно наблюдаемые как целое.

В интервале между уровнями В и В₄ отдешифрированные элементы могут быть переданы на карте только внесмасштабными знаками. Между уровнями В₁ и В₄ заключается все содержание снимков, которое может быть не только отдешифрировано, но и передано на карте мас-

штабными знаками. Естественно стремление специалистов понизить уровень А и вслед за ним уровни В, чтобы повысить информационную емкость снимков. С точки зрения картографирования интересно также изменять уровни В с тем, чтобы изображение на снимках можно было не только видеть в деталях, но и переводить в картографическое изображение.

Конкретное проявление всех закономерностей фотографического обобщения, очевидно, зависит от многих факторов. Их совместное действие причудливо переплетается таким образом, что всегда остается элемент случайности. В связи с этим механизм фотографической генерализации представляется довольно сложным, не поддающимся предрасчету и изложению в виде строгой и полной теории. Особенности фотографической генерализации проявляются различным образом в зависимости от того, какими съемочными системами получения изображения, в какой зоне спектра произведена съемка, каковы территория, время съемки и т. д. Наблюдения показывают, например, что если с изменением масштаба происходит главным образом обобщение изображения, то при смене зоны спектра генерализация сводится преимущественно к отбору элементов изображения (табл. 4.2.).

Таблица 4.2. Масштабы съемок и уровни географического обобщения изображения

Вид съемки	Класс масштабов	Масштаб	Уровень географического обобщения
Аэрофото-съемка	Сверхкрупно-масштабные	1:1000–1:2000	Фации
	Крупномасштабные	1:2000–1:10000	Урочища
	Среднемасштабные	1:15000–1:25000	Группы урочищ
	Мелкомасштабные	1:30000–1:200000	Местности
Космическая съемка	Сверхмелко-масштабные	1:1000000–1:10000000	Ландшафты
	Глобальные	1:50000000	Географические зоны и климатические пояса
		и мельче	

С изменением масштаба снимка каждый из элементов рисунка — форма, размер, тон или цвет — изменяется по определенным законам, вызывая тем самым изменение всего изображения, а следовательно, тех внешних характеристик объектов, которые находят отображение на снимках.

Следует различать *метрическое* и *содержательное обобщение* изображения. Метрическое, или формальное, обобщение связано с мас-

штабом и геометрическим разрешением изображения. Содержательное обобщение зависит не только от параметров съемочной системы, но и характера местности.

С уменьшением масштаба снимков происходит обобщение тонов и цветов. Полутона на черно-белых фотографиях исчезают тем быстрее, чем мельче контуры и чем меньше контраст изображения. Объекты, включающие в себя элементы различных цветов и цветовых оттенков, сфотографированные с некоторого расстояния, изображаются в обобщенных или смещенных цветах. Отдельные мелкие объекты тем скорее теряются на цветном снимке, чем менее выражен цветовой контраст между объектом и фоном.

Из сравнения дешифрируемости снимков различных масштабов получены общие закономерности географического обобщения воздушных и космических снимков Земли. При смене диапазона масштабов происходит существенная перестройка изображения, в результате меняется уровень географического обобщения.

Обобщение контурных элементов и среди них, в первую очередь, природных границ имеет свои особенности. Природные границы могут быть:

- а) резкими или линейными (урезы воды, бровки оврагов и др.);
- б) размытыми, или диффузными (плавные переходы от болот к суходолам и т.п.);
- в) мозаичными, или дисперсными (некоторые опушки лесов, верхняя граница лесного пояса в горах и т.п.).

Линейные контуры на снимках более мелкого масштаба выпрямляются и упрощаются из-за исчезновения мелких извилин. Размытые контуры с уменьшением масштаба становятся контрастными, более узкими и приближаются к линейным. Границы в виде полос, представляющие собой переходные комплексы между различными ландшафтными единицами, становятся контрастными, хорошо заметными и также приближаются к линейным контурам. В зависимости от уровня дисперсии мозаичные границы либо укрупняются, сохраняя мозаичность, либо превращаются сначала в диффузные, а затем в линейные границы.

Для количественной оценки степени обобщения контуров существует несколько критериев. Поскольку изображение контура представляет собой извилистую линию с тем большим количеством извилин, чем меньше она обобщена, можно объективно оценивать степень обобщения контура, сравнивая извилистость на разных изображениях. Предложены разные формулы для вычисления коэффициента извилистости K .

Коэффициент общей извилистости (по Н. М. Волкову) подсчитывается по формуле

$$K_1 = \frac{L}{D},$$

где D — длина (геодезическая) прямой между некоторыми точками А и В; L — длина извилистой линии между теми же точками.

Коэффициент извилистости (по С. А. Николаеву) определяется так:

$$K_2 = \frac{\bar{l}}{\bar{d}},$$

где $\bar{l} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i$, а $\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i$. Здесь \bar{l} — средняя длина дуг извилины,

\bar{d} — средняя длина хорд и n — число хорд или извилины на участке АВ.

Коэффициент извилистости может вычисляться и так:

$$K_3 = \frac{1}{\bar{l}} = \frac{n}{L}, \quad L = \sum_{i=1}^n l_i.$$

Коэффициент относительной извилистости, или коэффициент изменения извилистости линии, при переходе от масштаба к масштабу определяется по формуле

$$K_L = \frac{\bar{l}_1}{\bar{l}_2} = \frac{n_1 L_2}{n_2 L_1}.$$

Коэффициент изменения площадей S при переходе от масштаба к масштабу

$$K_S = \frac{S_1}{S_2}.$$

При картографической генерализации общегеографических карт, изменяя линейные размеры и площади изображения объектов, картографы стремятся сохранить постоянным соотношение между протяженностью линейных объектов или площадью объектов в натуре и на карте или между картами разных масштабов с тем, чтобы на них сохранились относительная густота и протяженность речной и дорожной сети, относительная залесенность или заболоченность территории и т. д. Как все это меняется на снимках разного масштаба?

Линейные резкие контуры при переходе к снимкам более мелкого масштаба изменяют длину крайне незначительно. Существенно укорачиваются длины контуров, проведенные по мозаичным границам (от

30 до 50% длины). В соответствии с этим уменьшается коэффициент общей извилистости. Можно сказать, что его изменение происходит прямо пропорционально длине линии.

Сравнение площадей естественных угодий показало, что они уменьшаются с изменением масштаба за счет спрямления контурной линии. Особенно уменьшаются площади сильно изрезанных контуров, например, массивов кустарников среди лугов; в некоторых случаях они сокращаются на одну треть, тогда как площади остальных контуров уменьшаются значительно меньше.

Общую тенденцию к убыванию площадей можно объяснить тем, что всякий ограниченный и невытянутый контур в пределе стремится обобщиться до пятна различной округлости и затем свестись в точку. Всякий вытянутый контур обобщается до полосы и затем стремится стать отрезком прямой.

Некоторые закономерности обобщения аэрокосмических изображений помогает выявить сравнительный анализ снимков и карт. Он позволяет контролировать правильность картографической генерализации и в конечном счете оценить возможности снимков и установить требования к ним с позиции картографии.

Основным контуром, содержащимся в космических снимках и изображающимся на картах всех масштабов и любого содержания, является гидрографическая сеть и, главным образом, береговая линия морей. Обобщение контуров на снимках происходит по оптико-механическим законам, которые, как было показано, имеют много общего с картографической генерализацией. Этим обуславливается сравнительно хорошее совпадение очертаний береговой линии на картах и аэрокосмических снимках крупных масштабов. Вместе с тем многократная генерализация береговой линии на картах мелкого масштаба и различная обобщенность исходных съемочных материалов приводит к тому, что изображение на картах и космических снимках не совпадают в более или менее крупных деталях.

Совпадения и различия в очертании береговой линии зависят от многих факторов, прежде всего от соотношения масштабов карт и снимков, назначения карты, способа получения снимков и от типа берегов. Например, наименьшие искажения из-за обобщения претерпевают крупнобухтовые берега. Дельтовые и ваттовые берега передаются на снимках очень обобщенно. В целом наилучшее совпадение очертаний берегов на телевизионных снимках и картах наблюдается при соотношении масштабов 1:2.

Среди морских карт наибольшая обобщенность береговой линии

обнаружена у генеральных карт. На них детально изображены только бухтовые берега, и подчеркнута утрировано показаны фиордовые берега и некоторые аккумулятивные формы.

Тематические карты, например геологические, береговую линию показывают преимущественно с большой степенью обобщения. Наибольшая сходимость береговой линии наблюдается на общегеографических картах, хотя это зависит от масштаба. Особенностью космического изображения является преувеличение площадей полуостровов, сочленение островов и приращение их к материку, тогда как на картах узкие проливы и перешейки показываются с некоторым утрированием. Сравнение подсчитанных коэффициентов извилистости K_1 , K_2 и K_3 показало, что на снимках и общегеографических картах равных масштабов береговая линия передается с примерно одинаковой извилистостью и изрезанностью.

4.3. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Общая задача, которая решается путем преобразования и фильтрацией аэрокосмических изображений (снимков) состоит в том, чтобы увеличить наглядность и выразительность изображения и тем самым повысить объем и разнообразие извлекаемой из снимков информации, а также поднять надежность дешифрирования.

Рисунок изображения может быть подвергнут различным преобразованиям, которые делятся на топологические и типологические.

1. *Топологические преобразования* форм и размеров включают:

- а) подобные преобразования изображений (масштабирование);
- б) проективные преобразования (исправления от перспективности);
- в) топологические преобразования (трансформирование с преобразованием одних проекций в другие).

С изменением условий съемки возникает непрерывная деформация изображения, происходит растяжение, сжатие и изгиб контуров и, следовательно, искажение форм объектов на снимках. Однако при этом сохраняются основные геометрические признаки форм: изломы контура (углы), пересечения и разветвления контуров (узлы) и обрывы контуров (концы), что и позволяет производить исправление (преобразование) изображения путем его трансформирования.

2. *Типологические преобразования* рисунка изображения предусматривают:

- а) обобщение по уровню плотности во времени и пространстве;

б) преобразования яркостной и цветовой структуры;

в) отбор и выделение элементов изображения;

г) уничтожение или введение контурности в изображение и др.

3. *Фильтрация* аэрокосмических снимков преследует две цели: во-первых, упростить изображение, уменьшить разнообразие и насыщенность содержащейся в снимках информации, понизить уровень шума, и тем самым облегчить поиск и обнаружение и распознавание объектов исследования; во-вторых, перейти от многозначных признаков к однозначным и тем самым повысить надежность интерпретации содержания снимков.

Процесс прямого дешифрирования на снимках включает два основных этапа: первый — выделение предметов изучения из среды прочих объектов, и второй — распознавание объектов. Фильтрация позволяет вполне объективно решить первую задачу, облегчая решение второй и открывая путь к автоматизации процесса дешифрирования.

Таким образом, *фильтрация* означает, во-первых, *отбор* (селекцию) отдельных элементов изображения по набору признаков, во-вторых, *выделение* (сепарацию) отобранных элементов, в-третьих, *перевод в иную форму записи* (перекодирование). Одновременно с выделением отдельных объектов происходит преобразование всего рисунка изображения, выявляются элементы, ранее плохо различимые. Вместе с преобразованием изображения происходит отсев ненужной информации, т. е. собственно фильтрация.

Селекция изображения производится по оптическим или геометрическим признакам. Первые включают: уровень оптической плотности элементов изображения, цвет, его насыщенность и светлота, спектральный состав излучения, набор спектральных характеристик. К геометрическим признакам относятся: ориентировка линий, формы и размеры контуров, насыщенность контурами данного участка, рисунок, образованный контурами в целом.

При работе со снимками фильтрация может предшествовать дешифрированию, совмещенной с ним, а также следовать за дешифрированием. В первом случае фильтрация производится по технологии, гарантирующей выделение определенных признаков. Отработка таких технологических схем — задача исследований в области конкретных приложений аэрокосмических методов для целей географических исследований. Наконец, дешифрирование может быть уже проделано, объекты найдены и распознаны, теперь с помощью фильтрации их нужно выделить, отграничить от среды, облегчив, например, переход от снимков к графическим схемам или картам.

Необходимо отметить, что всякая фильтрация ничего не прибавляет к той информации, которая содержится в исходных снимках, но меняет лишь форму ее выражения. Вместе с тем манипуляции со снимками неизбежно ведут, во-первых, к потери части информации и, во-вторых, к некоторому повышению уровня шума, помехам. И то, и другое зависит от способа съемки, качества фотографических материалов, метода фильтрации и совершенства применяемой технологии.

Разработаны и применяются различные способы, приемы и технические средства фильтрации снимков. Их можно свести условно к трем: *фотографическим* (маскированию, оконтуриванию и др.), *оптическим* (эквиденситным и спектро-анализаторным) и *электронным* (компьютерным).

В основе фотографической фильтрации снимков лежит принцип использования различных масок. Сам по себе прием маскировки изображения давно применяется при фотографической печати позитивов. Если возникают затруднения с проработкой самых светлых и самых темных мест изображения, то засветка производится не сплошным светящимся полем, а через нерезкий позитив, который играет роль оттенителя и называется «маской», а весь способ печати получил название «способа нерезкой маски», который уже описан в гл. 2 настоящей книги.

Печать с нерезкой маской преобразует тоновую структуру изображения так, что становится возможным, во-первых, различать детали изображения, которые при обычной печати не прорабатываются, во-вторых, использовать соотношение тонов изображения как более или менее устойчивый признак дешифрирования, не зависящий, например, от того, в середине или на краю снимка находится объект дешифрирования.

Если в качестве маски использовать позитив («резкую» маску), исходное изображение также можно преобразовать. Метод контурной печати позволяет исключить полутона из изображения и подчеркнуть разделяющие их контуры. Суть способа заключается в следующем. С негатива изготавливается на прозрачном материале диапозитив, соответствующий по контрастности и плотности негативу. Негатив соединяют с позитивом и производят засветку. Копировальная рама при этом должна вращаться, чтобы косыми лучами засвечивались границы разнотонных полей. Аналогичный результат можно получить с нерезкой маской, если проделать двухступенчатое маскирование с повторным изготовлением маски с первого маскированного позитива.

Контурный рисунок на отпечатке тем эффектнее, чем контрастнее исходный негатив и применяемые фотоматериалы. Однако различные

отклонения в режиме печати и фотохимической обработке приводит к тому, что на контурном отпечатке сохраняются некоторые полутона. Большей частью это не является помехой, а в ряде случаев даже необходимо для уверенного дешифрирования.

Модификацией контурной печати является печать способом *сэндвич*. В этом способе печать производится через комбинацию негатива с диапозитивом, которые соединяются без просвета, но с некоторым сдвигом. Из-за этого на отпечатке образуется темная контурная линия заданной ширины, которая оттеняет определенные участки изображения. Псевдопластический эффект создает впечатление приподнятости одних объектов над другими, например, облаков над поверхностью суши и океанов. Меняя направление смещения, можно получать позитивы, различающиеся набором выделенных контуров и общим видом изображения.

Метод двухзональной печати заключается в том, что исходный негатив и маска-позитив снимаются в разных зонах спектра. Например, фотографирование производится в зеленой (650 нм) и инфракрасной (800 нм) зонах спектра. С «зеленого» негатива изготавливается позитив, который служит маской для печати «красного» негатива. Двухзональная печать снимков может быть выполнена в черно-белом и цветном вариантах с большим числом черно-белых и цветных оттенков. Обычная печать цветных снимков с коррекционными светофильтрами, направляющими цветопередачу, фактически не что иное, как печать с цветопреобразованием.

Эквиденситный метод печати снимков позволяет получить линии равных плотностей — эквиденситы (или линии равных тонов — изотопы), делящие все изображение на участки через определенные ступени плотности. Если не принимать во внимание атмосферные и технические помехи, можно считать, что различие по тональности изображения прямо связано с распределением определенных свойств объектов. Поэтому эквиденситы можно с определенной степенью приближения принять за изолинии, соединяющие точки равных свойств или отбивающие поля равных средних свойств.

Сущность метода заключается в совместном использовании высококонтрастных негативных и позитивных изображений. Разработано несколько технологических схем эквиденситной печати снимков.

Эквиденситный метод печати, основанный на эффекте обращения (эффект Саботье), заключается в следующем. Если проэкспонированный и проявленный, но не отфиксированный светочувствительный слой подвергнуть вторичной равномерной засветке, а затем вторично

проявить, то чувствительность слоя по отношению ко второй засветке окажется тем меньшей, чем больше плотность почернения, образовавшегося после первого проявления. На изображении, подвергнутом такой операции, образуются два как бы наложенные друг на друга изображения: позитивное и негативное. Поля с различной градацией плотности будут ограничены линиями — эквиденситами. Повторяя эту операцию несколько раз, можно получить серию линий — границ, разделяющих поля равных градаций плотностей. В зависимости от принятой технологии окончательный результат может быть получен в виде:

- а) линий-эквиденсит без полутонов;
- б) четко разделенных разнотонных полей равных средних плотностей;
- в) разноцветных полей, соответствующих определенным ступеням плотности.

Существует также способ печати эквиденсит с использованием ряда масок. На высококонтрастных фотопленках с исходного негатива печатается ряд масок с разной экспозицией через выбранный интервал времени. Совмещая маски в «пакет» и комплект масок с негативом, при печати получают изображение линий равных плотностей. Печатаемая каждая зона через цветной светофильтр, путем многократной печати на цветной бумаге или пленке можно получить многоцветный эквиденсит — позитив, на котором промежутки между эквиденситами будут окрашены в различные цвета.

Такое тонально-ступенчатое изображение получается также путем совместной печати через растр. В результате образуется изображение, которое легко разграничивается линиями равных плотностей.

Технология фильтрации требует отдельного изготовления нескольких масок и неоднократного их совмещения, что делает весь процесс трудоемким. Технология упрощается и качество фильтрации повышается, если использовать специальную пленку с двойным эмульсионным слоем, дающим одновременно и негативное и позитивное изображение, например высококонтрастную пленку «Агфа-Контур» (Германия).

Эквиденситный метод печати дает хорошие результаты при обработке воздушных и космических снимков для воспроизведения полей распределения поверхностных температур и других особенностей суши и моря.

Оптическая фильтрация осуществляется путем преобразования пучка света, пропущенного сквозь негатив или диапозитив. Метод

основан на использовании оригинальных аэрокосмических изображений в качестве естественных дифракционных решеток, сквозь которые пропускается луч света от лазера. На экране возникает дифракционная картина, которая может быть расшифрована сама по себе или использована для восстановления изображения с одновременной фильтрацией.

Установка для оптической фильтрации, так называемый спектроанализатор, монтируется аналогично оптической скамье, на одном конце которой устанавливается источник света (лазер), на другом — экран, на котором возникает профильтрованное изображение. Если пропустить сквозь исследуемый негатив параллельный пучок когерентного, т. е. согласованного по фазам колебания света, то вследствие дифракции его лучей в фокальной плоскости создается дифракционная картина в виде ряда точек — максимумов света. С помощью линз в особой плоскости получается вторичное изображение. В этой плоскости помещается щелевой или секторный фильтр в виде диска с прорезанным сектором. Пропущенный фильтром свет собирается линзами и строится окончательное восстановленное и увеличенное изображение, которое фиксируется на фотопленке.

Оптическая фильтрация позволяет эффективно выделять на снимках системы различно ориентированных линий, образуемых тектоническими трещинами, морским волнением, песчаными грядами и др.

В заключение заметим, что большинство оптических и фотографических способов фильтрации и преобразования изображения на снимках в настоящее время сравнительно легко заменяются методами компьютерной обработки данных дистанционного зондирования, которые выделились в самостоятельную прикладную научную дисциплину, и поэтому рассмотрим ее отдельно.

4.4. КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА СНИМКОВ

В современном мире компьютерная обработка аэрокосмических снимков занимает прочное и постоянно расширяющееся место в дистанционных методах географического изучения нашей планеты, начиная от составления топографических и тематических карт и кончая исследованиями таких явлений, как динамика ландшафтов, геологических процессов и т.д. К этим словам, сказанным Г. Б. Гониным еще в конце прошлого века, следует добавить, что в настоящее время появилось огромное количество персональных компьютеров с разнообразным программным обеспечением. Компьютерная обработ-

ка снимков стала возможной в самых разнообразных вариантах, превратившись, по сути дела, в универсальный метод преобразования и фильтрации изображений.

Компьютерная обработка снимков включает следующие действия. Это, во-первых, операции над снимками, которые заключаются в преобразовании и фильтрации изображений. Во-вторых, операции со снимками, а именно извлечение из них информации, т. е. дешифрирование. Технологии этих операций включают цепочки действий, которые описываются специалистами с различной детальностью. Так, например, по мнению Ю. Ф. Книжникова (МГУ), все приемы обработки информации, получаемой со снимков, можно свести к трем основным: измерениям, преобразованиям и интерпретации изображений.

Более детально технологию компьютерной обработки материалов съемки описал Г. Б. Гонин (СПбГУ). Он включил в нее трансформирование снимков по опорным точкам или элементам внешнего ориентирования, измерение площадей отдешифрированных объектов и расстояний и др. Непосредственно на экране выполняется дешифрирование изображений в режиме диалога оператора и компьютера с выполнением различных преобразований, фильтрации, масштабирования изображений и др. Когда производится цифровая аэросъемка, оперативность использования ее результатов может быть повышена, если на борту летательного аппарата установлен компьютер с устройством вывода.

Еще подробнее описана технология обработки данных дистанционного зондирования на рис. 4.1, предложенной Ю. К. Королевым и Ю. Б. Барановым (Информационный бюллетень ГИС ассоциации, 2(4), 1996).

Компьютерная обработка материалов съемки начинается с ввода изображения, которое включает ряд процедур, связанных с формированием изображения. Если изображение представлено в цифровом виде прямо на борту спутника, как, например, на ИСЗ Лендсат, СПОТ, НОАА, их съемочные системы включают в себя программное обеспечение, которое предусматривает выделение отдельных кадров и привязку каждого кадра по данным измерения орбиты ИСЗ, что входит в задачу съемщиков.

Если же ведется фотографическая съемка и результат получается на пленке без цифровой обработки, то изображение необходимо отсканировать. При этом, помимо перехода от аналоговой формы к цифровой, попутно могут быть запрограммированы некоторые преобразования, например изменение контраста изображения.

Первый предварительный этап обработки снимков состоит в кор-

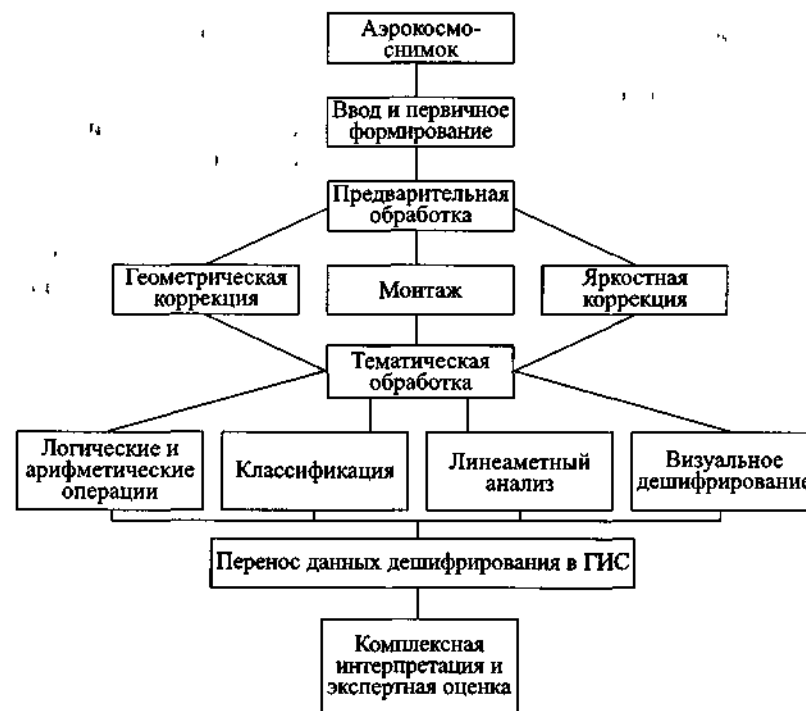


Рис. 4.1 Технологическая схема компьютерной обработки снимков

рекции изображений и монтаже исправленных снимков. *Коррекция* — изменение (исправление) характеристик с целью удовлетворить требования потребителя-дешифровщика. Она включает в себя ряд операций, которые предваряют процедуру тематического дешифрирования снимков.

Геометрическая коррекция заключается в масштабировании снимков, трансформировании и переводе в иную картографическую проекцию, а также ортотрансформировании, чтобы в дальнейшем была возможна привязка результатов дешифрирования к карте. При трансформировании из одной проекции в другую возникает более или менее заметное изменение форм объектов на снимках.

Яркостная коррекция включает улучшение и выравнивание распределения яркости и контраста по полю снимка, чтобы отчетливо различалось все разнообразие деталей.

Монтаж снимков, соединение их в общую картину в зависимости от точности проведенной геометрической коррекции, может за-

вершиться составлением фотосхемы и фотоплана. Более общая задача монтажа снимков — покрытие ими района исследования и оценка материала съемки.

Цветовая коррекция снимков — это прежде всего создание цветосинтезированных изображений путем сложения или вычитания, умножения и деления яркостных полей первичных изображений с целью повысить дешифрируемость изображений вообще и конкретных объектов в частности. Арифметические операции производят с изображениями, записанными в цифровой форме, полученными в разных зонах спектра. Обычно это два и более цветоделенных негатива или позитива, один из которых играет роль маски.

Выделение на снимках линеаментов (линейных элементов) различного происхождения составляет отдельную задачу, которая встречается при геологических, геоморфологических, экологических и др. исследованиях. Сами по себе линейные элементы чаще всего представляют собой системы трещин, разломов, песчаные гряды и др. Визуальное выделение линеаментов обычно затруднено их обилием и отсутствием хорошо заметной упорядоченности, а также их размытостью, замаскированностью иными компонентами, например растительностью. Опыт компьютерного дешифрирования линейных структур позволяет распознавать и анализировать линеаменты быстрее и надежнее.

Логические операции позволяют представить связь выявленных признаков с объектами дешифрирования в форме высказываний с использованием языка символов и формул алгебры высказываний, имитирующих структуру логических рассуждений. Использование математической логики позволяет объективизировать логический вывод о принадлежности данного объекта к подобным ему. Это приближает к решению проблемы автоматизации дешифрирования, поскольку открывает возможность автоматизированной классификации предметов изображения по разным признакам, преимущественно прямым. Классификация может быть основана на различиях в яркости природных и антропогенных объектов. Надежность распознавания повышается, если в качестве признаков используется сочетание яркостей в различных зонах спектра. *Кластеризация (классификация) изображения* с выделением структурно или спектрально однородных областей (контуров) облегчает поиск объектов дешифрирования по полю снимка.

Обработка завершается переносом результатов дешифрирования в геoinформационную систему — ГИС. Последняя становится базой для структурирования легенды составляемой тематической карты. Но эта задача уже компьютерного картографирования.

Глава 5

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СНИМКОВ

5.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ИНФОРМАЦИИ

Извлечение информации из аэрокосмических снимков составляет суть, задачу дешифрирования. Путем дешифрирования снимков можно получить самые разнообразные сведения, факты. Однако не все они являются информацией. К информации относятся только те из них, которые отвечают поставленной задаче, цели. Каждый факт, сообщение определенным образом изменяет наше представление о предмете исследования, а если не изменяет, то это не информация. Отсюда следует, что при отсутствии задачи никакой информации с аэрокосмических снимков получить нельзя. Беспредметное и бесцельное рассматривание снимков ни к чему не приводит. Такой подход соответствует основному требованию, предъявляемому к научной информации, — изменить наши знания, а через них управлять нашими действиями. Некоторые из этих действий направлены, в свою очередь, на совершенствование самих источников информации — аэрокосмических снимков — и методов извлечения информации.

По мере развития методики дешифрирования с помощью аэрокосмических снимков получается новая информация во всеувеличивающемся разнообразии и количестве. Однако в каждом конкретном случае в рамках поставленной задачи мы имеем дело с конечной по объему определенного содержания информацией. Содержание и количество извлекаемой информации обуславливаются уровнем наших знаний и заранее сформулированными требованиями, например, в виде легенды или перечня условных знаков, которые в конечном счете также отра-

жают наши знания. Именно ограниченность и определенность информации позволяют формализовать сведения, получаемые по снимкам, и производить с ними математические операции.

Для определения максимального количества информации, которое требуется получить для решения данной задачи, введем понятие «полная информация». Под полной информацией J_t мы понимаем ту информацию, которую в каждом отдельном случае необходимо (и принципиально возможно) извлечь при условии выбора снимков наиболее благоприятствующих фотографических свойств и масштаба.

На самом деле мы используем снимки, обладающие свойствами, отличными от оптимальных. Содержащееся в них количество информации в общем случае меньше полной информации и составляет оперативную информацию J_o . В оперативную информацию входят те из необходимых сведений, которые можно рассчитывать получить путем дешифрирования данных снимков. Однако извлеченная информация J_a всегда меньше оперативной из-за ошибок дешифрирования ($J_a \leq J_o \leq J_t$).

Ошибки дешифрирования $J_o - J_a = \Delta J_1 + \Delta J_2$ возникают по двум причинам. Во-первых, некоторые объекты могут быть пропущены из-за недостатка признаков ΔJ_1 . Во-вторых, возможно ложное распознавание — дезинформация — из-за совпадения или недостатка признаков ΔJ_2 .

Извлеченная информация может быть разнообразной по форме: в виде числовых характеристик, графиков, карт и их комбинаций, а также выражена в единицах информации — битах. Вместе с тем информация может быть разнородной по содержанию, т. е. по характеру составляющих ее фактов, сведений, иметь различную ценность, которая определяется задачей исследования и является функцией интересов потребителя информации — дешифровщика.

Форма выражения информации и ее качественная разнородность определенным образом связаны между собой. Смысловой анализ содержания снимков затруднителен, если полностью отвлекаться от формы выражения информации. В то же время вся смысловая разнородность информации не может быть сведена к формальному разнообразию. Поэтому формальный и содержательный анализы аэрокосмических снимков определенным образом сочетаются. Формальный анализ производится на базе содержательного и завершается тем, что в полученном результате ищется смысл, содержание.

Все сведения, содержащиеся в снимках сверх того, что является для нас информацией, хотя и не представляют ценности для иссле-

дователя, но отнюдь не безобидны, а являются помехой — шумом. На практике можно встретиться с различным уровнем шума или помехами разной интенсивности. Помехой является, например, значительная толща атмосферы, которая в виде дымки накладывается на фотонизображение. Интересно отметить, что характер шума связан с масштабом снимков и, следовательно, уровнем обобщения изображения. Так, например, некоторые геологические контуры на мелкомасштабных снимках выделяются лучше, чем на крупномасштабных.

Деление получаемых сведений на информацию и шум условно, они имеют одну природу и могут взаимно переходить друг в друга. Так, если при топографической аэрофотосъемке шумом является изображение облаков, закрывающих местность, то при синоптическом дешифрировании именно характер, рисунок облачного покрова является информацией, а изображение поверхности Земли помехой, шумом.

5.2. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ИНФОРМАЦИОННОГО ПОЛЯ СНИМКОВ

Качественное разнообразие и количество извлеченной информации в значительной степени определяется свойствами информационного поля снимков. Обычная аэрокосмическая фотография представляет собой картину (иконический образ) и как источник информации обладает максимальной коммуникативностью, ибо она общедоступна, общепонятна и конкретна и поэтому в состоянии передать содержащиеся в ней сведения любому потребителю. Однако эта «простота» нередко вводит в заблуждение представителей наук о Земле: геологов, географов и других, полагающихся на ее примитивность, поверхностность.

Свойственное снимкам изображение действительности в формах самой действительности обеспечивает портретное сходство оригинала и изображения. Простота отождествления снимков с натурой, внешнее совпадение изображения объектов местности с тем, как мы их видим непосредственно невооруженными глазами, определяет *наглядность* снимков. Объекты напрямую распознаются на снимках, если их изображения соответствуют непосредственному зрительному образу и если они хорошо известны по прямому опыту или из каких-либо источников.

На заре развития аэрофотосъемки наглядность снимков особенно ценилась. Предполагалось, что именно возможность прямого визуального распознавания является главным достоинством снимков с летательных аппаратов. Но по мере совершенствования дистанционных ме-

тодов большое значение стали придавать *выразительности* изображения. Изображение тем выразительнее, чем интенсивнее и контрастнее выделены на нем объекты, являющиеся предметом исследования. Таким образом, выразительность изображения характеризуется простотой дешифрирования объектов и явлений, наиболее существенных для решения поставленной задачи.

Наглядность и выразительность в известном смысле противоположные, взаимоисключающие свойства изображения. Так, наибольшей наглядностью обладают цветные в натуральных цветах снимки. Меньшая наглядность у цветных спектрально-зональных снимков, но зато при дешифрировании, например, лесов они имеют большую выразительность.

Наглядность и выразительность изображения связаны с его масштабом, но оптимальные по выразительности и наглядности масштабы снимков не совпадают друг с другом. Наглядность (для наземного наблюдателя) возрастает с укрупнением масштаба снимков. Выразительность же связана с уровнем особенности фотоизображения, и поэтому она оптимальна для различных объектов в разных масштабах.

Съемка на различных фотоматериалах за пределами видимой зоны спектра, фильтрация и преобразования изображения — все это делается для того, чтобы получить максимально выразительные снимки, применительно к различным дешифровочным задачам. Способы кодирования изображений становятся все более разнообразными; вместе с тем изображение все дальше удаляется от оригинала, от того, что мы видим непосредственно на местности или визуальными с летательных аппаратов. На снимках появляется изображение такого рода явлений, которые принципиально невозможно увидеть в натуре, например температурные различия объектов. Порой местность на снимках становится так же трудно узнать визуальными, как самого себя на рентгеновском снимке.

Выразительное изображение повышает надежность распознавания предметов дешифрирования. Но при этом возникает другая проблема. Локализация распознанных объектов и явлений становится затруднительной, понижается точность дешифрирования. Выход находят в сочетании обычных фотоснимков с записью свойств объектов в любой иной форме, например в виде спектрограмм, или в сочетании снимков с различной наглядностью, как, например, при мультиспектральной съемке камерами типа МКФ-6м.

Снимок может быть в разной степени насыщен фактами, сведениями — информацией. Количество оперативной информации или коли-

чество объектов дешифрирования в единице площади снимка составляет его *нагрузку*. Информационное поле снимка определяется также *формальным* и *содержательным* разнообразием информации. Отношение объема информации ко всему объему сведений, содержащихся в единице площади снимка, характеризует уровень шума.

Специфическим свойством информационного поля является его *комплексность*. Под комплексностью понимается, во-первых, одновременное изображение на снимках большого числа различных элементов местности, во-вторых, — интеграция характерных признаков объектов и явлений таким образом, что исчезают детали, но остается суммарное изображение сложного объекта. Комплексность изображения связана с уровнем географической обобщенности аэрокосмического снимка.

Одно из существенных положительных свойств снимков — современность. Возможность быстрого получения сведений о состоянии объекта съемки всегда ценилась. Сейчас же, в связи с задачами экологического мониторинга, особенно существенной становится потребность в максимально быстром получении информации о ситуации на значительной по площади территории.

Однако с течением времени уменьшается соответствие между изображением и местностью, стареет содержащаяся в снимках информация. Но ценность извлекаемой информации не является функцией времени, а определяется, как уже сказано, задачей исследования. Поэтому нельзя рассматривать старение снимков как некий процесс «испарения» информации из снимков. Со временем меняется лишь смысл информации. Старые снимки могут оказаться чрезвычайно полезными, например, при изучении природных процессов. Более того, информационная ценность снимков со временем повышается, так как они являются единственными портретными свидетелями прошлого. Карты снимкам здесь не конкуренты, в них есть элемент субъективности, чего в снимках нет. Поэтому уже давно возникла, но до сих пор является практически не решенной в полной мере задача сохранения снимков как географического, геологического, экологического, социального документа. Пока что лучшим примером являются альбомы-атласы, выпущенные в России и других государствах.

5.3. ДЕШИФРИРУЕМОСТЬ СНИМКОВ И ЕЕ ОЦЕНКА

Характеризуя ценность аэрокосмических снимков для решения определенных исследовательских задач, обычно говорят об их дешиф-

рируемости. Термин «дешифрируемость снимков» широко используется в кругах специалистов и распространен в специальной литературе. Однако, сравнивая между собою толкования этого понятия, легко заметить, что в него вкладывается различный смысл. Например, фотографии связывают дешифрируемость снимков с их разрешающей способностью и рассматривают дешифрируемость снимков как их фотографическое качество.

Большинство специалистов под дешифрируемостью подразумевает именно возможность получения необходимой информации по снимкам. Считается, например, что при геологическом картографировании 40–60% необходимой информации можно получить по снимкам, другая часть информации должна быть получена иным путем. При почвенном картографировании дешифрируемость черно-белых, цветных и инфракрасных аэроснимков средних масштабов оценивается в 58–60%.

На самом деле дешифрируемость снимков определяется объемом и важностью информации, которую предполагается получить для решения каких-либо научных и практических задач. Дешифрируемость снимков связана со всеми их свойствами. Она не может быть определена вообще без учета целей дешифрирования. Одни и те же снимки обладают разной дешифрируемостью по отношению к различным объектам и задачам.

Качественная оценка дешифрируемости выражается через *релевантность* или *полезность* снимков, которая может быть установлена только в результате накопления опыта работы со снимками и постановкой специальных наблюдений.

Количественной мерой дешифрируемости снимков R может служить отношение оперативной информации J_o к полной информации J_t :

$$R = \frac{J_o}{J_t},$$

причем если нет ошибок дешифрирования, то

$$R = \frac{J_a}{J_t}.$$

В теории информации отношение полученной информации к посланной характеризует пропускную способность канала связи. Такого рода критерий позволяет, хотя и весьма приблизительно, оценивать не только дешифрируемость данных снимков, но и возможности аэрокосмической съемки в целом как одного из методов исследования Земли.

Полезность снимков складывается из дешифрируемости каждого отдельного объекта. Она прямо связана с вероятностью его появления на снимках и выражается через вероятность $p(x)$. Количество информации, которое несет это сообщение, определяется через $-\lg p(x)$. Если полагать, что дешифровщик работает безошибочно, вероятность распознавания объекта будет равна вероятности его появления.

На практике нередко возникает необходимость сравнения дешифрируемости как объектов на снимках, так и снимков, снятых на различной пленке или разными съемочными системами. В этих случаях удобно определять относительную дешифрируемость снимков из сравнения их между собой или по отношению к некоторому «эталону», за который принимаются наиболее распространенные и универсальные черно-белые панхроматические фотоснимки.

Относительная дешифрируемость снимков R_r определяется по формуле

$$R_r = \frac{R}{R'} = \frac{J_o}{J'_o},$$

где R' и J'_o — дешифрируемость и оперативная информация для эталонных снимков.

Относительная дешифрируемость отдельных объектов на разных снимках может быть определена по формуле, предложенной А. А. Харкевичем для подсчета ценности получаемой информации:

$$R_r = \lg \frac{p(x)}{p'(x)},$$

где $p'(x)$ — вероятность достижения цели до получения информации; $p(x)$ — вероятность достижения цели после получения информации. Для нашей задачи $p'(x)$ — вероятность дешифрирования объекта на эталонных снимках; $p(x)$ — вероятность дешифрирования того же объекта на сравниваемых снимках. Эта формула позволяет подсчитывать прирост информации, получаемый при различных способах съемки.

Возможность обнаружения и распознавания зависит от соотношения размеров объекта и масштаба снимков. Связь вероятности распознавания с масштабом аэрокосмического изображения графически выражается специфической кривой — *кривой дешифрируемости* (рис. 5.1).

На кривой дешифрируемости выделяются особые участки и точки, а также соответствующие им масштабы снимков. Точке A соответствует минимальный масштаб, в котором изображение объекта впервые появляется на снимках. На участке от A до B объект еще не распознается

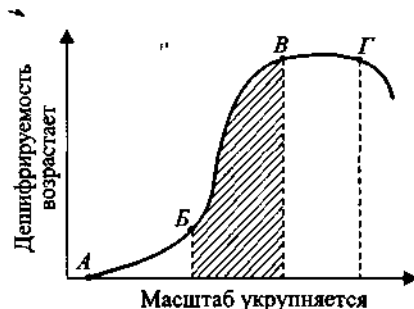


Рис. 5.1 Кривая дешифрируемости аэрокосмических снимков

непосредственно, но могут быть косвенные признаки, помогающие его распознать. Точка В соответствует оптимальному масштабу, в котором проявляется форма объекта и другие прямые признаки. Начиная с этого масштаба на участке от точки В до точки Г дешифрируемость интенсивно возрастает. Точке В соответствует максимальный масштаб, в котором прямые признаки объекта полностью себя выявили, и дальнейшее укрупнение масштаба не увеличивает дешифрируемость. Более того, за пределами точки Г масштаб становится настолько крупным, что объект трудно или же невозможно увидеть весь, он теряет свою целостность.

Таким образом, если снимки слишком мелкого масштаба, объект дешифрирования может быть не обнаружен. С другой стороны, если масштаб слишком крупен, объект может «рассыпаться» на детали и перестать восприниматься в целом, как нечто единое. Как известно, «большое видится на расстоянии».

Рациональные масштабы, пригодные для дешифрирования, расположены на участке от точки В до точки Г. Диапазон масштабов, заключенный между этими точками, невелик для элементарных объектов, легко распознаваемых непосредственно. Для них максимальные масштабы почти совпадают с оптимальными. Кривая дешифрируемости сложных объектов более полого, поэтому диапазон рациональных масштабов велик, и их выбор зависит от задачи дешифрирования. При работе со сложными объектами для выделения и дешифрирования контуров рациональные масштабы близки к оптимальным, но содержательное дешифрирование требует масштабов крупных. Например, для содержательного дешифрирования урочищ и классов ассоциаций растительного покрова требуются аэроснимки масштабов 1:10 000–1:12 000, тогда как контурное дешифрирование этих объектов можно сделать на снимках масштабов 1:20 000–1:25 000.

Поскольку разнообразных объектов дешифрирования велико, каждый из них дешифрируется наилучшим образом на снимках определенного масштаба, то, вообще говоря, не существуют какие-либо предпочтительные масштабы снимков. Иначе говоря, предположение, что чем крупнее масштаб изображения, тем больше на этих снимках можно увидеть, что крупномасштабные аэрокосмические снимки удобнее и выгоднее для дешифрирования, — неверное. Каждому объекту подходит свой масштаб снимков, и каждому масштабу соответствуют свои объекты. Следуя вдоль оси масштабов (рис. 5.1), можно убедиться в зависимости дешифрируемости снимков от их масштаба и крупности дешифрируемого объекта.

5.4. ИНФОРМАТИВНОСТЬ И ИНФОРМАТИВНАЯ ЕМКОСТЬ СНИМКОВ

Аэрокосмическое изображение может быть представлено в виде скопления множества точек — элементарных носителей информации, так называемых пикселей. Тогда объем информации, содержащейся в снимках, будет зависеть от минимального размера частиц, из которых складывается изображение, и числа воспроизводимых тонов или цветов.

Допустим, что аэрокосмическое изображение, состоящее из n дискретных элементов любого из m тонов, может принимать некоторое число равновероятных состояний $N = m^n$. При этом число N определенным образом характеризует количество информации, содержащейся в снимке. Обычно принято выражать информационную емкость различных физических систем через логарифм их состояний. Если выбраны двоичные логарифмы, количество информации будет выражено в двоичных единицах, или битах

$$J = \lg_2 N = n \lg_2 m. \quad (5.1)$$

Число элементарных частиц, содержащихся в снимке, можно подсчитать по формуле

$$n = S(2C)^2,$$

где C — средняя разрешающая способность снимков; $S(\text{мм}^2)$ — площадь снимков.

Если каждый элемент может принимать только один из двух тонов, например черный или белый, последняя формула сразу дает ответ о

количестве информации, содержащейся в снимке, так как

$$\lg_2 2 = 1 \text{ или } J = n.$$

Следует обратить внимание на различие в понятиях *информационная емкость* и *информативность* снимков. Различие заключается в том, что под емкостью понимается чисто формальная вместимость изображения, тогда как информативность означает реальное содержание полезных сообщений, т. е. собственно информации в снимке.

Была подсчитана информационная емкость аэроснимков, имеющих различные разрешающие способности и число различных тонов. Подсчитано также количество информации, которое может получить наблюдатель, рассматривающий снимки невооруженными глазами. Из результатов расчетов следует, что информационная емкость снимков быстро увеличивается с повышением их разрешающей способности и значительно медленнее возрастает с увеличением числа различных тонов.

Такого рода формальный подход к оценке информационных свойств снимков, к сожалению, совершенно игнорирует смысл информации. Поэтому приведенные выше результаты расчетов интересны главным образом с точки зрения выбора технических средств съемки и путей их совершенствования.

Вместе с тем объем информации, содержащейся в снимках, может быть определен как сумма понятий (объектов), которые должны быть отдешифрованы и переданы, например, на карте. Можно принять, что каждый элементарный условный знак или соответствующее ему понятие — дескриптор несет единицу информации. Цена каждого понятия P , вообще говоря, определяется вероятностью появления объекта на снимках $p(x)$, но задачу можно упростить и приписывать P только два значения 1 или 0.

Чем больше словарный запас или набор альтернатив, которыми описывается объект (или условный знак), тем больше информации он несет. Например, лес (P_1) несет одну единицу информации, лес хвойный (P_2) — две, лес хвойный еловый P_3 — три.

Тогда, как это следует из формулы (5.1), при $m = 2$ количество информации в системе будет равно числу элементов системы n . Другими словами, достаточно пересчитать все понятия или условные знаки, составляющие картографическую легенду, чтобы получить представление об объеме информации в карте. Однако существующие списки условных знаков, в том числе общегеографических, топографических, чаще всего непригодны для такого рода пересчета. Для этого они

должны быть построены в виде разветвляющейся системы понятий в форме так называемого «логического дерева», которое должно включать весь перечень понятий, расположенных в последовательности от общих понятий к частным. Последовательность ступеней должна соответствовать порядку распознаваемости, как это показано на примере с лесом.

Каждое логическое дерево в целом должно содержать в себе конечное, упорядоченное в рамках определенной логики множество понятий, составляющих в сумме объем информации, подлежащий передаче на карте, если принять, что дешифрируемость отдельных объектов и явлений независимы друг от друга, равновероятны, а дешифрирование производится безошибочно.

Исходя из этих общих положений были рассчитаны графики объема информации на черно-белых аэрокосмических снимках и совмещены с кривыми объема информации в общегеографических картах того же масштабного ряда (рис. 5.2).

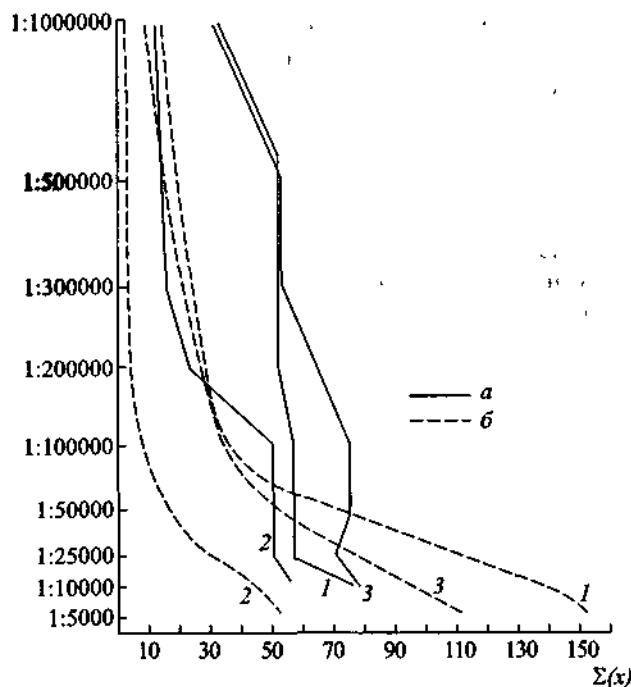


Рис. 5.2. Объем информации в картах (а) и аэрокосмических снимках (б). 1 — рельеф, 2 — растительность, 3 — гидрография

Нетрудно заметить, что графики объема информации на снимках приняли форму кривых дешифрируемости, что понятно, так как они показывают изменение объема оперативной информации с изменением масштаба снимков. Кривые объема информации в картах представляют собой ломаные линии, свидетельствующие о том, что нет согласованности между стандартными сводками условных знаков для последовательного ряда масштабов. Следует заметить, что в масштабах 1:25 000–1:50 000 кривые пересекаются. В более крупных масштабах снимки «богаче» информацией, чем карты, в более мелких масштабах карты насыщеннее информацией.

Глава 6

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЕШИФРИРОВАНИЯ СНИМКОВ

6.1. ПРЕДМЕТ И СУЩНОСТЬ ДЕШИФРИРОВАНИЯ СНИМКОВ

Географическое дешифрирование аэрокосмических снимков есть метод изучения географической (ландшафтной) оболочки Земли в целом, ее частей (регионов, ландшафтов) или отдельных элементов.

В зависимости от поставленной задачи различается дешифрирование *общегеографическое* (*топографическое* и др.) и *специальное* или *отраслевое, тематическое* (геоморфологическое, геоботаническое, гидрографическое, почвенное, геоэкологическое и др.).

На практике дешифрирование выступает как сложный, развернутый во времени процесс, который не сводится к элементарному узнаванию известных объектов. Содержание дешифрирования состоит в обнаружении, распознавании и истолковании объектов и явлений, изображенных на снимках, установлении их качественных и количественных характеристик и взаимосвязей, определении на этой основе наличия и свойств объектов, не получивших прямого изображения на снимках, и, в конце концов, в формировании новых представлений, понятий — новых знаний.

Дешифрирование представляет собой многоэтапный процесс со сложной структурой, который может быть рассмотрен на различных уровнях: *познавательном* (*логическая структура*), *методическом* (*технологическая структура*) и *прагматическом* (*организационная структура*).

Процесс дешифрирования может принимать различные формы. Различается дешифрирование полевое и камеральное, визуальное и из-

мерительное, эталонное, в разной степени автоматизированное и объективизированное, а также сочетания этих разновидностей. Иногда их называют методами дешифрирования, но в пределах единого метода это скорее методики, отличающиеся друг от друга не сущностью, а приемами и используемыми средствами. В каждом конкретном случае ход процесса дешифрирования будет особым, а в зависимости от целей — различны результаты дешифрирования. Общее заключается в том, что всегда будет иметь место изучение с помощью аэрокосмических снимков объектов и явлений, из которых складывается реальная местность.

Дешифрирование снимков, как и аэрокосмические методы в целом, существует и развивается постольку, поскольку в нем нуждается целый ряд наук и человеческая практика, в первую очередь науки о Земле и соответствующие им отрасли производства. Извлечь из снимков некоторые полезные сведения, отвечающие определенным нашим потребностям, можно только задавшись конкретной целью. Последняя должна быть послана наукой или отраслью производства. В свое время Н. Г. Келль писал, что «дешифрирование аэроснимков — многогранный процесс, и каждую грань этого процесса нельзя отрывать от той отрасли исследований, в которой она проявляется». Вместе с тем, как уже было сказано во введении, дешифрирование аэрокосмических снимков, являясь основным разделом аэрокосмических методов, включает в себя *общую (теоретическую) часть*, или иначе — *учение о методе*, и *прикладную часть*, чрезвычайно обширную и непрерывно расширяющуюся.

Объект (предмет) дешифрирования и дешифровочные задачи определяются областью приложения метода. Объектами изучения географии являются прежде всего природные комплексы (географические системы), их компоненты и отдельные элементы, составляющие в целом географическую оболочку Земли. Изучение этих объектов по снимкам составляет сущность географического дешифрирования. Задача географического исследования, сформулированная в наиболее общем виде, состоит в познании объективно существующих природных закономерностей в виде пространственных и временных связей, взаимодействий, взаимообусловленностей между отдельными объектами и явлениями внутри природных естественных и преобразованных ландшафтов и всей ландшафтной оболочки Земли.

Дешифрируя снимки, мы в той или иной степени участвуем в решении этой задачи. Цели исследования остаются прежними, но натура заменяется снимками. Практически эта замена никогда не бывает

полной. Сведения, добытые из снимков, дополняются данными, полученными другими способами, в зависимости от того, насколько исследователи овладели методикой дешифрирования, от совершенства этой методики, свойств снимков и от характера самих сведений, который могут быть и такого рода, что с помощью аэрокосмических методов их нельзя получить. Однако, следует заметить, что в науке и практике, использующих аэрокосмические методы исследований, дешифрированием стали называть истолкование любых записей с летательных аппаратов, например, полученных в форме спектрограмм.

Современная география признает учение о взаимосвязи всех природных объектов и явлений, входящих в природные системы, основой, объединяющей все отраслевые географические науки в комплекс тесно связанных наук. Точно так же, анализируя изображение местности на снимках, всегда имеют в виду, что природные и антропогенные объекты и явления связаны между собой, взаимодействуют друг с другом. Это определяет комплексный географический подход к дешифрируемым объектам и явлениям. Отсюда следует, что дешифрирование аэрокосмических снимков географично по своему существу, независимо от того, какие цели — широкие или узкие, научные или производственные — при этом преследуются. Практически это значит, что какого бы рода дешифрирование не производилось, дешифрируемые объекты и явления обязательно рассматриваются в связи с той географической средой, в которой они находятся или составной частью которой они являются.

Без использования географических закономерностей немислимо ни любое отраслевое географическое дешифрирование, ни геологическое, ни археологическое. Так возник и утвердился географический подход к дешифрируемым объектам местности в целом. Затем он принял форму особого приема извлечения информации из снимков, получившего название *ландшафтный метод дешифрирования*.

Таким образом, для географа снимок является своеобразным «инструментом» и его анализ не есть самоцель, а способ исследования природных и созданных руками человека объектов. Само фотографическое изображение является предметом изучения двух наук или научных дисциплин: *фотографии* и *фотограмметрии*, первая из которых изучает физико-химические, а вторая — метрические свойства фотографического изображения. В процессе дешифрирования действительно используются достижения этих наук, но само дешифрирование заключается в исследовании того объекта, который изображен на аэрокосмических снимках.

Дешифрованию снимков и в целом аэрокосмическим методам присущ определенный круг проблем, которые составляют теоретические основы метода, включающие следующие основные разделы:

1) методологические проблемы дешифрирования. Сюда входит раскрытие содержания основных понятий и терминов дешифрирования, определение дешифрирования как познавательного процесса, раскрытие взаимоотношения дешифрирования с географией и другими науками о Земле и методами ее изучения;

2) проблемы, связанные с анализом изобразительных свойств аэрокосмических изображений. К ним также относятся проблемы, возникающие при установлении признаков дешифрирования, их оценке, систематизации и классификации;

3) проблемы, связанные с раскрытием информационных свойств снимков, анализом свойств информационного поля снимков и оценкой их дешифрируемости. Здесь, как и в предыдущей части, дешифрирование снимков тесно связано с оптикой ландшафтов, техническими средствами съемки, но не сводится к ним;

4) проблемы, связанные с анализом геометрических свойств снимков и способов измерений по ним. Эти вопросы тесно связаны с фотogramметрией и фотометрией, но не исчерпываются ими;

5) проблемы инженерной психологии, возникающие при анализе роли человека в процессе дешифрирования, а также проблемы надежности технологии, а следовательно, результатов дешифрирования. Сюда же входят вопросы обучения и привития навыков дешифрирования;

6) технологические проблемы, возникающие при переходе от аэрокосмических снимков к картам, проблемы картографирования на основе материалов съемки. Они образуют особую область аэрокосмической картографии.

Таков перечень общих проблем дешифрирования аэрокосмических снимков. Частные проблемы возникают при решении задач отраслевых географических наук и включают вопросы дешифрирования конкретных природных объектов, природно-территориальных и производственно-территориальных комплексов. Не следует ни преуменьшать, ни преувеличивать значение общих и частных проблем. Соотношение между ними определяется степенью развития метода на данном этапе.

Нужно отметить, что перечисленные выше проблемы обобщены лишь по отношению к определенному кругу объектов или задач. Попытки выделить общие проблемы в чистом виде, полностью абстрагируясь от конкретных объектов дешифрирования, кончаются неудачей.

Анализ показывает, что по мере расширения сферы применения аэрокосмических методов круг общих проблем сужается. Например, проблемы, связанные с учетом влияния различных географических факторов, в частности атмосферы, на дешифрируемость снимков, будут общими только до тех пор, пока аэрокосмические снимки используются для изучения ландшафтной оболочки Земли.

Некоторые исследователи полагают, что существуют только частные разновидности дешифрирования, каждая со своими методиками и особенностями, теорией. Эта позиция проявляется, например, в безосновательном пренебрежении к общепринятой терминологии, что обнаруживается в работах по частным видам дешифрирования. Точно так же, разрабатывая методы и приемы дешифрирования космических снимков, исследователи недостаточно используют опыт, накопленный в области дешифрирования аэрофотоснимков. Правильный подход должен выражаться в том, чтобы способствовать развитию как общих основ учения о методе, так и частного отраслевого дешифрирования, взаимно их обогащая.

6.2. АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ СНИМОК КАК МОДЕЛЬ МЕСТНОСТИ

Дешифрируя снимки, мы исследуем свойства объектов не непосредственно, а опосредованно, через изучение снимка, устанавливая определенные отношения между свойствами объектов и их изображением, и в этом суть приема с гносеологической точки зрения. Таким образом снимок играет роль модели.

Согласно общему определению, модель — устройство отображения, способное в определенной степени заместить оригинал. Конкретно, снимок — изображение, картинка (иконический образ). Как источник информации он обладает максимальной коммуникативностью, ибо общедоступен, общепонятен, конкретен и поэтому в состоянии передать содержащиеся в нем сведения любому потребителю (пользователю). Эта «простота» нередко вводит в заблуждение некоторых специалистов, полагающих, что эти модели примитивны и поверхностны. Подобные суждения в разное время встречались у части географов, а также геологов и других естествоведов.

Конечный результат исследования зависит от свойств модели, которая должна быть в некотором объективном соответствии с изучаемым объектом или явлением. Общность модели и оригинала проявляется в форме изоморфизма, суть которого в том, что объект и модель опи-

сываются одними математическими зависимостями и тем самым находятся в определенном соответствии. Изоморфизм снимков и местности делает возможным опосредованное изучение местности по снимкам, в том числе позволяет производить измерения изобразившихся объектов.

Способность модели замещать объект исследования предполагает, что в ней должны быть воспроизведены какие-то свойства этого объекта. Модели могут копировать самые различные свойства. Аэрокосмические снимки воспроизводят формы объектов, соотношения размеров, оптические свойства (цвет, яркость) объектов, внешний вид местности — ее морфографию, что и является основной, первичной информацией, получаемой при дешифрировании снимков.

Чтобы нести информацию, разнообразие копируемых свойств объектов должно быть ограничено определенными рамками. В нашем случае они определяются техническими возможностями и оптическими условиями съемки. Наличие информации в снимках предполагает некоторый выбор как воспроизводимых свойств предметов, так и способов копирования этих свойств. Можно, например, выбрать подходящую зону спектра для съемки, разнообразную по фотографическим характеристикам пленку, различные технические средства съемки, варианты воспроизведения позитива и т. д. Возможное разнообразие столь велико, что возникает специальная задача выбора типа изображения, отвечающего поставленной задаче. Она усложняется тем, что необходимо указать масштаб изображения. Модель всегда является в какой-то степени обобщенным воспроизведением свойств объекта-прообраза. Для сознательного и рассчитанного выбора свойств изображения необходимо знать закономерности обобщения аэрокосмических снимков.

Используя модель, исследователь преследует разные цели. Во-первых, он может стремиться получить определенную выгоду в удобстве и скорости производства работ, сократить непроизводительные расходы сил и средств. Во-вторых, получить новые сведения, выявить скрытые закономерности, присущие изучаемому объекту и не поддающиеся исследованию иными способами. В зависимости от этого выбирается степень обобщения модели и производится отбор отображаемых в модели свойств.

При полном копировании всех свойств модель становится конгруэнтной объекту, т. е. совмещающейся при наложении. Теория информации говорит, что при полном совпадении модели с объектом ничего нового сверх обычного с такой получить нельзя.

Однако чрезмерно обобщенная модель также дает мало информации. Новые оригинальные сведения можно получить только при анализе в меру обобщенной модели. Это положение хорошо иллюстрируется аэрокосмическими снимками, на которых многие сложные и крупные объекты обнаруживаются только в силу их большого обобщения. Более того, на снимках различного масштаба обнаруживаются объекты разного иерархического уровня. Поскольку объекты и цели дешифрирования бывают различными, снимки полезны всех масштабов.

Исследование географических объектов и явлений методами моделирования — дело не новое в географии. Поэтому полезно рассмотреть, какое место в иерархии используемых в географии моделей занимают аэрокосмические снимки.

Модели включают, как известно, два основных класса:

- 1) физические, или вещественные, модели, которые, в свою очередь, делятся на статические, воспроизводящие форму, структуру объекта-оригинала, и динамические модели, воспроизводящие движение, процессы,
- 2) знаковые, или математические, модели, которые иногда называют логическими. Некоторые специалисты выделяют еще один класс моделей — интуитивные, или мысленные (Ю. Ф. Книжников и др.).

Вещественные модели представляют собой устройства, сохраняющие некоторые формы и структуру оригинала. Знаковые модели могут и не иметь внешнего сходства с имитируемыми объектами, ими могут быть формулы и графики, выражающие природные закономерности.

Знаковые модели могут быть первичными (оригинальными), получаемыми непосредственно в процессе съемки, и вторичными (производными), построенными по результатам дешифрирования и другим материалам дистанционного зондирования. Первичные модели это, прежде всего, снимки, двухмерные изображения. По результатам съемки может быть построено и трехмерное изображение местности, например виртуальная (видимая, но нематериальная) стереомодель. Технически реализуема съемочная сканирующая система, прямым результатом работы которой является рельефная модель местности, вырезанная из пластика в процессе съемки.

Внутри каждого из типов моделей существует большое число разновидностей. Любая вещественная модель, оставаясь изоморфной оригиналу, может отображать разное число его свойств. Для примера можно построить целую иерархию таких разновидностей только по признаку сохранения определенных геометрических свойств. Наибо-

лее близкой оригиналу будет модель, сохраняющая все геометрические свойства объекта, т. е. подобная ему. В географии приходится иметь дело в основном с трехмерными объектами и явлениями, а также с процессами, протекающими в трехмерном пространстве. Поэтому строгое преобразование подобия возможно осуществить только при построении объемной модели.

Все двухмерные модели получают путем проективного отображения объектов с сохранением условия коллинеарности, при котором прямые линии изображаются прямыми же. Аэрокосмические снимки являются более частным случаем изображения, так как в бесконечно малых частях они сохраняют свойство аффинности, т. е. помимо прямолинейности линий сохраняют еще их параллельность. Поэтому на снимках в общем случае сохраняются формы плоских объектов, а стереомодели воспроизводят формы объемных объектов. Поскольку форма воплощает в себе целостную природу отображаемого объекта, ее воспроизведение приводит к изображению не только в строго научном, но и в житейском привычном смысле этого слова (Л. М. Веккер). Это позволяет непосредственно распознавать объекты на снимках.

Дальнейшее обобщение отображений геометрических форм объектов порождает группу изображений, получаемых путем преобразований и фильтрации снимков, в результате чего не сохраняется ни одно из упомянутых выше геометрических и изобразительных свойств, а формы полностью кодируются. И, наконец, возможны преобразования, приводящие к полному кодированию пространственных характеристик объектов, например путем перевода изображения на снимке в запись в форме регистрограммы или в виде цифровой записи в памяти компьютера. Эта запись, сохраняя изоморфные отношения к объекту, т. е. продолжая быть его моделью, уже перестает быть его изображением.

В процессе исследования может быть использована не одна модель, а их цепочка, как чаще всего и бывает. Например, на основе анализа двухмерного изображения (снимка) может быть построена трехмерная стереомодель, а затем создана двухмерная модель (карта).

6.3. ЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПРОЦЕССА ДЕШИФРИРОВАНИЯ

Структура познавательной деятельности дешифровщика или *логическая структура процесса дешифрирования* включает в себя ступени, ведущие исследователя от незнания к знанию, этапы формирования

новых знаний. При анализе логической структуры естественно исходить из ступеней познания. Поэтому, анализируя дешифрирование как познавательный процесс, выделим в нем три ступени:

- 1) *обнаружение (выделение)*, как акт зрительного восприятия;
- 2) *распознавание (индикация)* объектов и формирование понятий и суждений;
- 3) *объяснение (интерпретация)*, при котором совершается переход от незнания к знанию или от неполного знания к более полному знанию, уточнение и углубление знания.

Все три этапа составляют единый цикл познания. Некоторые элементарные виды дешифрирования могут быть завершены в пределах одного цикла, но в подавляющем большинстве случаев наблюдается многократное повторение циклов. Логическая структура процесса дешифрирования не зависит от назначения и объема дешифровочных работ и места их производства. Она в равной степени сохраняется и при полевом, и при камеральном дешифрировании.

Процесс всякого познания начинается с чувственного восприятия. Но первый этап дешифрирования — обнаружение и выделение объектов интереса — нельзя сводить только к ощущению. Обнаружение предполагает, что в нашем сознании создается зрительный образ, в формировании которого более или менее заметную роль играют ранее полученные представления.

Процесс дешифрирования требует от исполнителей времени и внимания. Внимание — сосредоточение сознания на каком-либо деле, предмете, цели. Контроль за деятельностью и ее результатами — основной принцип воспитания и совершенствования внимания. Оно может быть сконцентрировано различным образом в зависимости от поставленной задачи и избранного пути решения. Так, например, возможны две различные процедуры дешифрирования: во-первых, сплошное дешифрирование по всему полю изображения и, во-вторых, избирательное дешифрирование — поиск конкретных объектов, признаки которых более или менее известны. В обоих случаях важную роль играет избирательность зрительного восприятия, зависящая от ранее приобретенного опыта; играет роль также сформулированная установка, цель дешифрирования. С другой стороны, успешность обнаружения и выделения предметов поиска зависит, очевидно, от характера изображения. Преобразования и фильтрация аэрокосмических снимков собственно и делаются для того, чтобы выделить на изображении интересующие нас объекты и явления и тем самым облегчить их обнаружение.

Обнаружение связано с распознаванием. При некоторых условиях довольно трудно выделить этап обнаружения, он может быть слишком кратковременным. В других случаях обнаружение может быть совсем не связанным с распознаванием, между ними может быть разрыв. Такое положение довольно часто встречается, когда дешифрованием занимаются лица, мало знакомые со снимками. Рассматривая снимки, они обнаруживают нечто, что отличается от прочего тоном или цветом, размером, формой или рисунком, но не знают, что это такое.

По мере приобретения опыта обнаружение начинает все больше сочетаться с распознаванием; на первых порах обнаружение может сопровождаться частичным распознаванием. Например, можно обнаружить и тут же распознать леса вообще, но не распознать деревья по породам, хотя различия между ними обнаруживаются. Наконец, обнаружение может почти полностью совпасть с распознаванием.

Обнаружение с немедленным распознаванием внешне проявляется как своеобразная интуиция. Она характерна для индивидуумов с острым восприятием, хорошей зрительной памятью и опытом дешифрирования. Способность к интуитивному дешифрированию чаще всего встречается у опытных профессионалов-топографов. Она имеет место при дешифрировании объектов, непосредственно видимых на снимках, когда все дешифрирование сводится к их прямому распознаванию. Значительно реже интуитивное распознавание имеет место при специальном, тематическом дешифрировании. В этом случае полное и достоверное дешифрирование требует времени и совсем не производит впечатление мгновенного акта.

Исследование интуиции как способа познания показало, что за любой ее разновидностью всегда кроется опыт, который позволяет исполнителю неуловимо быстро пробегать все ступени познания, но никак не миновать их. Не следует путать ускоренное распознавание или умозаключение, т. е. «доброкачественную» интуицию, с интуицией-догадкой, решением случайным, бездоказательным. Чтобы повысить надежность результатов дешифрирования, во всех случаях надо стремиться подробно излагать систему доказательств. В этом состоит задача объективизации дешифрирования.

Обнаружение является не единовременным актом, но многократно повторяется в процессе дешифрирования, делясь на ряд последовательных фаз. В процессе поиска дешифровщик идет от общего к частному. Последовательно сменяются такие стадии:

1) непосредственное созерцание целого;

2) разделение изображения на все более мелкие и неясно выраженные компоненты;

3) выделение элементарных единиц. Дробность зависит от того, на каком уровне обобщения изображения обнаруживаются объекты и явления, представляющие интерес для дешифровщика.

Обнаружение может быть результатом целенаправленного поиска определенных объектов, но может быть случайным. Любое дешифрирование начинается с обнаружения случайного и только затем превращается в целеустремленный поиск.

Обнаружив, распознав и осмыслив ряд объектов, дешифровщик снова и снова обращается к снимку, пытается обнаружить то, что по разным причинам осталось незамеченным. Так как круг объектов, которые предполагается обнаружить, становится все более определенным, сам поиск становится все более определенным, целенаправленным и одновременно с этим все менее делимым с последующим распознаванием. Помимо единичных, элементарных объектов на снимках приходится искать, обнаруживать и распознавать сложные объекты, изображающиеся тоновой (цветовой) и линейной структурой — рисунком. Такие образования теряются на снимках, маскируясь среди общего рисунка по правилам камуфляжа. Обнаружение таких объектов большей частью возможно только благодаря значительному обобщению аэрокосмического изображения.

С практической точки зрения этап обнаружения имеет огромное значение, так как от него в значительной степени зависит скорость дешифрирования. Экспериментальные исследования в области инженерной психологии показали, что время поиска определяется не объемом информации, содержащейся в некоем устройстве отражения, например аэрокосмическом снимке, а числом шагов поиска, т. е. количеством фиксации глаз. Вместе с тем, чем проще и быстрее обнаруживаются на снимках объекты поиска, тем надежнее результаты дешифрирования.

В результате распознавания или, иначе говоря, эмпирического познания содержания обнаруженных объектов дешифровщик устанавливает новые факты. Распознавая, он должен ответить на вопрос «что это такое?». Этот этап дешифрирования подразделяется на ряд отдельных стадий. По В. Ф. Рубахину, процесс распознавания включает: угадывание, выделение признаков, их систематизацию, синтез и группирование признаков, определяющих объект.

В целом процесс дешифрирования протекает во времени сравнительно плавно, но установление каждого нового факта, распознавание объекта происходит в виде скачка, в котором выделяются два момен-

та: во-первых, период накопления признаков и, во-вторых, реализация скачка в виде резкого перехода количества в качество. Сведения о внешних чертах объекта, накапливаясь и суммируясь, по достижении некоторого предела выстраиваются в связную цепочку, в результате чего раскрывается значение объекта, происходит его распознавание.

В процессе дешифрирования снимков формальный анализ рисунка тесно переплетается с содержательным анализом изображения. Формальный анализ сопровождается декомпозицией рисунка, которая делается в следующем порядке. Сначала происходит формальная оценка системы в целом, описываются или фиксируются структура и текстура изображения, затем — членение изображения на участки по типам структур и текстур. Оценивается цветовая гармоника или тоновая структура. Анализируется и описывается контурная структура рисунка. Декомпозиция рисунка на всех этапах дешифрирования сопровождается синтезом выделенных элементов в частные и в определенном смысле произвольные структуры, которые могут иметь смысл и распознаваться как известные объекты, например реки, озера, леса, болота и др., но могут оказаться и случайными, бессодержательными.

Таким образом, формальный анализ изображения решает задачу разделения и выделения отдельных объектов, которые различаются и распознаются по набору формальных признаков. Опознанные объекты и явления позволяют судить о других объектах и явлениях и местности в целом. Это — содержательный уровень анализа, который дает основание для формальных поисков новых частных содержательных структур. Данный процесс может повторяться неоднократно, пока не будут исчерпаны изображения на снимке, возможности дешифровщика или электронно-оптической системы, если анализ поручен компьютеру.

Три группы факторов сказываются на успешности дешифрирования аэрокосмических снимков. Во-первых, *свойства снимков*: непривычная точка зрения, ракурс, большое обобщение изображения и значительный обзор, непривычная и даже искаженная передача тонов и цветов, случайность зафиксированного момента и неподвижность изображения. Во-вторых, *особенности зрительного восприятия*: целостность или предметность, осмысленность, подвижность, константность и субъективность, в-третьих, *уровень подготовки дешифровщика*: знакомство с конкретной территорией и объектами дешифрирования, знания в области, в интересах которой ведется съемка и дешифрирование, практические навыки работы со снимками и другое.

Изображение местности на снимках необычно и не соответствует привычному земному виду. Объекты, которые легко узнать на Земле, порой с трудом распознаются на снимках. Причин этому несколько: непривычное направление взгляда сверху вниз, большое обобщение картины, исчезновение деталей при возросшем поле зрения и др. Многие природные и искусственные объекты имеют осью симметрии направление силы тяжести, поэтому деревья, дома и другие объекты привычно выглядят сбоку, но непривычно сверху.

В силу большого обобщения на снимках исчезают отдельные объекты, но зато становятся различимыми природные образования, которые при наземных наблюдениях уловить крайне трудно или невозможно. Например, на космических снимках обнаруживаются настолько крупные геологические и географические образования, что в натуре они практически необозрваемы. Вместе с тем на снимках запечатлен вид местности в некоторый случайный момент. Нетипичные объекты и явления создают на снимках редкостный облик местности, тем самым затрудняя их дешифрирование.

Съемка производится различными техническими системами, а результаты воспроизводятся на снимках в черно-белых и цветных вариантах. Во всех случаях тона и цвета будут получаться в разной степени отличающимися от так называемых натуральных. Иногда это делается умышленно, чтобы упростить обнаружение объекта и повысить достоверность дешифрирования.

Аэрофотографическую съемку чаще всего производят на черно-белую панхроматическую пленку, кривая светочувствительности которой близка, но не совпадает с яркостной чувствительностью глаз. На инфракрасных и радарных снимках соотношения тонов уже ничего общего не имеют с тем, что мы непосредственно видим глазами.

В отличие от того, что можно наблюдать непосредственно на местности, на снимках природа предстает перед исследователем неподвижной. Представление о течении природных процессов и просто о перемещении каких-либо объектов можно получить либо косвенным путем, либо путем повторных съемок.

Все особенности изображения на аэрокосмических снимках несомненно усложняют распознавание, но по мере приобретения навыков они все меньше влияют на результаты дешифрирования. Снимки в условных цветах, спектрзональные изображения требуют уже специальной расшивки изображения.

Существенное влияние на скорость и достоверность распознавания объектов на снимке оказывают особенности нашего зрительного

восприятия. Человеческому восприятию видимых образов присущ ряд особых свойств, среди которых: целостность (предметность), осмысленность, подвижность, константность и субъективность.

Наблюдатель воспринимает не просто распределение яркостных пятен в поле зрения или разнообразные линии и пятна на снимке, он мысленно, сознательно или подсознательно, группирует линии и пятна в рисунок, пытается отыскать знакомый образ или подметить некоторую закономерность. При этом дешифровщик отвлекается от собственных свойств носителя информации — снимка. В зрительном образе в первый момент не фиксируются ни зернистость снимка, ни даже микроструктура сложных объектов. Наблюдателю прямо открываются сами предметы. В целом процесс распознавания движется, как правило, от общих понятий к частным, от крупных объектов к деталям, неоднократно повторяя этот путь.

Весь окружающий нас мир, и в природе и на снимках, воспринимается нами заполненным разнообразными объектами, которые, собственно, и создают пространство вокруг нас. Каждому распознающему предмету придается временное или постоянное наименование, которое входит в круг понятий, с помощью которых описывается объект исследования. Каждый выделенный и распознанный объект сопоставляется с уже известными объектами и ему находится место в системе наших представлений, знаний. В этом заключается осмысленность распознавания.

Одним из свойств чувственного восприятия является его подвижность. В зрении она проявляется двояким образом. Во-первых, в процессе дешифрирования наблюдатель сосредоточивает свое внимание поочередно на различных частях снимка и различных деталях изображения, прежде всего зрение скользит по линиям — границам. Этот процесс многократно повторяется до практически полного извлечения информации. Во-вторых, глаза совершают непрерывные колебательные движения, так называемый тремор, не позволяя тем самым затухать изображению, проецируемому через хрусталик на светочувствительную сетчатую оболочку глаза.

Важное значение при распознавании содержания изображения на снимках имеет константность восприятия. Она проявляется в том, что объекты и их свойства, хорошо знакомые дешифровщику, узнаются независимо от качества изображения и внешних условий восприятия. В этом случае по части узнается целое, и количество признаков, необходимых для распознавания объектов, сокращается до минимума. Эта особенность восприятия позволяет узнавать известные объекты, пере-

данные на снимках в различных ракурсах, обобщенно. Другими словами, мы можем знать об объекте много больше того, что нам нужно для его распознавания. В конечном счете свойство константности позволяет развивать навыки распознавания, учиться дешифрированию, как и учиться вообще.

Процесс распознавания протекает различным образом в зависимости также от того, в какой степени дешифрируемые объекты и местность в целом знакомы дешифровщику. Выделяются две крайние ситуации, когда дешифровщику очень хорошо в натуре известна местность и когда она ему совершенно неизвестна, а также множество промежуточных ситуаций, например, когда территория известна из описаний, знакома по картам и т. д.

Если дешифровщику хорошо известны прямые признаки объектов, распознавание сводится к сравиванию известного изображения с обнаруженным. Каждый акт распознавания является бинарным событием, у которого возможны два исхода — да или нет. Такого рода распознавание объекта с известными признаками заданного вида не требует сложной мыслительной деятельности и вполне может быть автоматизировано.

Возможно также, что дешифровщик знаком с местными объектами по картам, хорошо знает эту или аналогичную местность в натуре или по другим снимкам, но не знаком с ее изображением на данных снимках. Дешифровщик сопоставляет образ объекта, возникший у него по описанию, при знакомстве с картой или в результате непосредственных наблюдений, с изображением на снимке и по совпадению признаков распознает объект. Такое дешифрирование при условии выбора и сопоставления некоторого числа обнаруженных объектов с рядом признаков носит вероятностный характер. Полнота и достоверность его результатов связана с вероятностью появления самого объекта на снимках и вероятностью появления дешифровочного признака.

Может случиться, что дешифровщик абсолютно незнаком с объектом ни по описаниям, ни по картам, ни в натуре. Такого рода ситуация возникает при работе со снимками лиц с малой эрудицией и опытом, равно как и при работе со снимками малоисследованных территорий. Такое же положение возникает при дешифрировании космических снимков Земли. Но особенно ярким примером является дешифрирование космических снимков других планет, а также обратной стороны Луны.

Если объекты не были ранее известны дешифровщику, изображение воспринимается по принцип «как видится». Восприятие не бу-

дет скорректировано ранее имевшимися представлениями об объекте, и, если даже объект будет распознан, в памяти сохранится его случайный образ. Однажды воспринятый, он может не повторяться, и в других обстоятельствах этот же объект может оказаться не распознанным. Затруднения с распознаванием по этой причине исчезают по мере приобретения опыта работы с разными снимками, в том числе и на территории, которые дешифровщик никогда не посещал. Такое положение дел, когда исследователь детально знакомится с отдаленными странами и целыми материками только по воздушным и космическим снимкам, становится типичным для современной географии и других наук о Земле, так же как ранее было характерно получать знания из географических карт.

В любом восприятии неизменно присутствуют элементы суждения, предположения. Однажды созданные суждения, влияя на ход распознавания, придают ему личный, субъективный характер. Особенности восприятия тем больше сказываются на результатах распознавания, чем меньше признаков используется и чем неопределеннее поставленная перед дешифровщиком задача. *Субъективность дешифрирования* сказывается особенно сильно, когда дешифрирование ведется в виде поиска, и нет точного перечня и описания объектов, подлежащих дешифрированию. В этом случае новые, неожиданные факты особенно ценны, а от умения их находить и распознавать зависят качество результатов дешифрирования и эффективность метода в целом.

Субъективность результатов дешифрирования создает некоторое неудобство при организации совместных работ многих исполнителей, например при топографическом дешифрировании. Известно, если поручить дешифрирование одних и тех же снимков разным исполнителям, получатся не совпадающие полностью результаты. Расхождение будет тем большим, чем менее квалифицированы дешифровщики. На практике в качестве «дирижера», сводящего результаты воедино, выступает обычно географ-редактор.

На основе установленных частных актов, в результате их обобщения и классификации возникают новые понятия и суждения. В процессе их усвоения изменяются старые понятия. При этом новые факты и новые понятия могут легко найти себе место, но могут и с трудом восприниматься. Однажды созданные представления обладают определенной инерцией. Сила этой инерции зависит от субъекта. Здесь возможны две крайности. Одни исследователи преувеличивают значение новых фактов и понятий. В поисках нового они утрируют наблюдения, принимая желаемое за действительное и тем самым искажают

реальное положение дел. Наблюдатели с такими свойствами распознают всегда больше объектов и их свойств, чем это фактически допускает снимок. Другим свойственно игнорирование новых фактов. Все отклонения от привычного они упускают или неверно интерпретируют, обедняя результаты дешифрирования.

Объяснение результатов обнаружения и распознавания превращает полученную информацию в знание. Выявление смысла, понимание воспринимаемого и распознанного — конечное звено переработки всякой информации. Следуя за К. Д. Ушинским, можно сказать, что видеть — это еще не знать, как понимать видимое, вот в чем главная цель. В результате мыслительной деятельности — операций анализа, синтеза, сравнения, классификации, обобщения и в конечном счете оценки происходит свертывание информации и ее усвоение. Найдя ответ на вопрос «что это такое», дешифровщик теперь должен ответить на вопрос «почему так, а не иначе?».

Исследователь может абстрагироваться от изображения и логическим путем, опираясь на опыт, обобщать и резюмировать свое мнение о сущности объектов и явлений. При этом он переходит от индивидуальных свойств к собирательным. Используя известные из предыдущих исследований и установленные в процессе дешифрирования природные взаимосвязи и закономерности, в результате порой довольно сложных умозаключений, дешифровщик определяет наличие и особенности объектов и явлений, не получивших непосредственного изображения на снимках, а также получает представление о скрытых сторонах объектов и явлений, которые легко распознаются на снимках.

Вновь созданные или уточненные понятия и суждения затем выступают как средство, аппарат мышления, на основе которого происходит обнаружение и распознавание новых объектов, выявление их свойств и закономерностей. Поэтому выделение этапов познания в процессе дешифрирования носит условный характер. Все этапы дешифрирования переплетаются между собой, образуя единый сложный процесс познания через дешифрирование. Цели, преследуемые при этом, могут быть разнообразными: научными и практическими, очень широкими и узкими, но процесс познания не меняет своей сущности в зависимости от объекта исследования или назначения извлекаемой информации.

Взаимодействия чувственности и мышления имеет место на всех уровнях познания. В чистом виде чувственное восприятие имеет место разве только в том случае, если дешифровщик не принимал участие в съемке (в формировании изображения) и ничего ранее об объекте дешифрирования не знал. Но и при этом возникают гипотезы и пред-

положения, исходя из которых дешифровщик не только истолковывает увиденное, но и воспринимает образы. Известно, что человек видит лучше то, о чем в данный момент думает, на чем сосредоточился. В конце концов на основании установленных фактов, в результате логического обобщения и объяснения происходит переход от незнания к знанию или от неполного знания к более полному знанию, уточнение и углубление знаний.

Анализ логической структуры процесса дешифрирования открывает путь к пониманию познавательной деятельности дешифровщика при работе со снимками. Исследования в этой области имеют практическое значение, так как способствуют наиболее эффективному использованию метода для решения различных задач науки и практики, с другой стороны, они полезны при разработке приемов, способов и организации дешифрирования и оценке результатов дешифрирования.

6.4. ПРИЗНАКИ ДЕШИФРИРОВАНИЯ

Всякое изображение представляет собой многомерное поле таких основных свойств объекта съемки, как *тон или цвет, размер и форма*. Эти константы являются теми *элементарными прямыми признаками*, из которых складывается зрительный образ объекта. Прямые признаки — суть собственные свойства объектов съемки, непосредственно изобразившиеся на снимках. К ним часто относят тень, которую следует скорее назвать признаком демаскирующим: тень передает форму объекта.

Дешифрирование начинается с обнаружения и распознавания видимых на снимках объектов. Такое дешифрирование называется *прямым*, или *непосредственным*. Образ объекта складывается из признаков, по которым он распознается. Другими словами, образ объекта эквивалентен системе правил его распознавания. Утверждать: «я узнаю дом, дорогу, лес, реку» значит быть в состоянии выделить ряд признаков, составляющих образ дома, дороги, леса, реки.

Элементарные прямые признаки составляют как бы «буквы» алфавита того языка, которым передается информация на снимках. Они объединяются в «фразы» — структуру и текстуру изображения. В свою очередь более сложные системы структур и текстур создают «текст» изображения. Поскольку рисунок изображения передает строение природных комплексов различной сложности, он называется *прямым ландшафтным или комплексным признаком*.

Выделение признаков, описывающих каждый конкретный образ

объекта, необходимо для их накопления и систематизации, и особенно важно — для объективизации и автоматизации дешифрирования. Это трудная задача. Далеко не всегда ясно, какими признаками руководствовался дешифровщик, распознавая объект. Из чего состоит тот минимум признаков, который позволяет распознать объект? Или, иначе, какие признаки и в какой степени могут быть нарушены, а какие обязательно должны быть сохранены, чтобы объект оставался узнаваемым? Однозначный ответ на этот вопрос, т. е. такой ответ, который давал бы рекомендации на все случаи, встречающиеся в практике, дать невозможно.

Сущность прямых признаков и их роль в распознавании объектов и явлений различны. Они могут быть однозначными, двужначными и многозначными.

Однозначные признаки могут либо быть, либо отсутствовать в изображении и не имеют иных свойств. Эти признаки дают наиболее надежный, лишенный неопределенности результат при дешифрировании. Однозначным признаком является форма. Форма изображения — это основной прямой признак, по которому устанавливается наличие объекта. Именно в форме контуров заключена основная часть информации, получаемой с изображения. К тому же форма лучше запоминается, сохраняется в памяти дольше других признаков и может быть описана не только словесно, но и количественно. В свое время, исследуя зрительные системы методами теории информации, В. Д. Глезер и И. И. Цукерман пришли к выводу, что главным элементом зрительного восприятия являются линии и контуры, а не площади, заключенные в них. Зрительная система наблюдателя в первую очередь выделяет именно очертания предметов, их форму. Строго говоря, бесформенное не распознается. Заметим, что недаром одним из главных приемов маскировки является камуфляж, т. е. «разрушение» образа предмета с помощью окраски, искажающей его очертания.

Различение формы и достоверность распознавания зависит от контраста между объектом и фоном, от самой формы и степени ее нарушения, например, за счет обобщенности очертаний. На тестах с систематически нарастающими нарушениями фигур установлено, например, что вероятность распознавания многоугольников зависит от выраженности углов фигур; вероятность распознавания округлых фигур зависит от степени изрезанности контуров.

Скорость распознавания фигур, имеющих простые формы: квадрата, окружности или многоугольника, возрастает по мере увеличения их размеров, а затем понижается, когда фигуру становится невозмож-

но воспринять сразу в целом, и необходимо иметь время на ее осмотр. Общее правило состоит в том, что скорость восприятия и достоверность распознавания возрастают (до некоторого предела) с увеличением периметра фигуры. Другими словами, фигура воспринимается и распознается тем увереннее, чем более подчеркнута ее форма.

Двузначные признаки обладают интенсивностью. Такими признаками являются: *тон на черно-белых снимках (светлее-темнее) и размер (больше-меньше).* При дешифрировании снимков используются не только и не столько абсолютные значения размеров и тонов, сколько их соотношения, которые более устойчивы и, следовательно, поэтому надежнее. Именно поэтому широко используются многозональные и мультиспектральные съемки.

Признаком с многозначными свойствами является цвет. Он описывается многими параметрами: насыщенностью, светлотой, яркостью. В человеческой памяти цвет удерживается слабо. Хотя, как признак дешифрирования, в ряде случаев цвет может играть решающую роль. Например, при дешифрировании растительности и др.

Вслед за прямым распознаванием дешифровщик определяет объекты и их свойства, не поддающиеся непосредственному узнаванию или не изобразившиеся на снимках. Он продельывает это, используя *косвенные признаки*, которые указывают опосредованно через одни объекты и их свойства на наличие других объектов, явлений и их особенности, не получившие изображения на снимках.

Косвенные признаки делятся на две группы. К первой группе относятся природные взаимосвязи между компонентами ландшафтов, например связь растительности с рельефом, рельефа с гидрографией, почв и грунтов с растительностью и т. п. В соответствии с этим косвенные признаки делятся на геоботанические, геоморфологические и другие. В целом все эти *признаки* называются *косвенными ландшафтными*.

Многие из известных природных связей и зависимостей установлены эмпирически и носят качественный характер. Однако, используя аэрокосмические снимки, их можно установить в виде, например, коэффициентов корреляций.

Роль косвенных признаков *второй группы* могут играть антропогенные объекты, а также связь между ними и природными объектами и явлениями. Например, конфигурация грунтовых дорог хорошо связана с характером грунтов, распределение пахотных земель и направление пахоты — с рельефом, увлажненностью грунтов и т. п. Такие признаки называются *косвенными социально-географическими*.

Если из-за недостатка прямых признаков трудно отнести объект к определенному классу, в этом случае он может распознаваться по его положению среди других предметов. Нередко распознавание базируется на обычной житейской логике. Например, две дороги, входящие одна в другую, не могут быть одна железной, другая автогужевой. Предметы, имеющие правильные геометрические формы, как правило, относятся к результатам человеческой деятельности, поскольку природа сама по себе ничего подобного не создает. Впрочем, этот путь уже нередко приводил к неверным выводам и суждениям.

Использование косвенных признаков требует комплексного всестороннего анализа изображения и дешифрируемой местности. Поэтому дешифрирование предпочитают вести не на отдельных снимках, а на монтажах-фотосхемах, на которых можно обозреть сразу значительный участок местности.

Если копировать из снимка изображение отдельного объекта и пытаться его дешифрировать, то мало что о нем можно будет сказать. Только в среде прочих объектов дешифрируемый объект может быть надежно распознан и наиболее полно охарактеризован. Это легко обнаруживается, как только сокращается поле обзора изображения. Вероятность правильного распознавания объекта резко уменьшается, когда границы объекта уходят за пределы поля зрения, что подтверждается многолетним опытом работы со снимками и результатами экспериментов. Так, например, на фотосхеме безошибочно различались пашни и озера, тогда как на выкопировках поверхность озера без берегов нередко истолковывалась как пашня.

Процессы, происходящие в природе, всегда распознаются косвенно по состоянию отдельных объектов и местности в целом, по следам воздействия на природу. Вся совокупность природных систем и объектов, из которых складывается изображение на снимках, позволяет не только описывать состояние природного или природо-антропогенного комплекса, но и судить о его прошлом и будущем.

Те объекты, наличие (свойства) которых указывают на присутствие (свойства) других объектов, называются *индикаторами*. Поэтому дешифрирование с их помощью называется *индикационным*. Объекты, дешифрированные косвенно, затем сами используются как индикаторы. Так создается сложная цепь логических связей. Деление объектов и явлений на индикаторы и индицируемые очень условно. Они нередко меняются местами. Например, в тундре микрорельеф дешифрируется по распределению растительного покрова, а в горных районах, наоборот, распределение растительности по рельефу.

Важнейшим индикатором при дешифрировании самых разнообразных элементов ландшафтов служит растительность, тесно связанная с другими компонентами: рельефом, почвами и грунтами, водами и климатом. Например, растения-индикаторы играют роль прямых признаков, а смена растительности при изменении условий жизнедеятельности, в том числе и прямое исчезновение растительного покрова, является косвенным признаком. В качестве индикаторов могут быть использованы различия в основных жизненных формах растений, например степени угнетенности и др., различие в структуре растительного покрова, например его густота, покрытие, дисперсия, а также цвет, тон изображения растительности.

Наряду с растительностью важным индикатором является рельеф. Различные формы рельефа тесно связаны с рельефообразующими процессами и, следовательно, находятся во взаимосвязи со всеми природными объектами и явлениями. Связь рельефа с другими компонентами природных комплексов, его большая роль в формировании внешнего облика ландшафтов и возможность непосредственного дешифрирования позволяют использовать рельеф как индикатор самых разнообразных объектов и явлений. С рельефом местности тесно связана также хозяйственная деятельность людей, природопользование, особенности размещения на поверхности Земли жилых и производственных сооружений и др.

Индикаторами могут выступать морфометрические и морфологические особенности рельефа, а именно: абсолютная высота и амплитуда колебаний высот рельефа, формы рельефа, его возраст и современная динамика, ярусность рельефа, общая расчлененность и крутизна склонов, группировка и ориентировка отдельных форм рельефа и экспозиция склонов: ветровая, солончатая и по отношению к влагонесущим потокам воздуха, что вместе с абсолютными высотами определяет климатические условия и водный режим разных участков в изучаемой местности. От этих условий в свою очередь зависят наличие и состояние растительного покрова.

Важную роль в индикационном дешифрировании играют элементы гидрографии: реки, озера, водохранилища, болота. Тесная связь структуры и густоты гидрографической сети с геологией и рельефом позволяет использовать, например, рисунок речной сети как прямой ландшафтный признак при геоморфологическом, геологическом и палеогеографическом анализе местности. При установлении общей физико-географической характеристики местности значение индикаторов приобретают сведения о внутригодовом ходе водности рек и озер и увлаж-

ненности территории, о ледовом режиме, а также химизме вод, почв и грунтов.

Определяющая роль растительности, рельефа и гидрографии в качестве индикаторов обусловлена относительной простотой и детальностью их дешифрирования. Результаты дешифрирования зависят от масштаба снимков и использованной для съемки зоны спектра. В общем случае в масштабах 1:5000–1:25 000 как индикаторы могут успешно использоваться и рельеф, и гидрография, но основным индикатором является растительность, которая в этих масштабах дешифрируется с наибольшей подробностью. В масштабах более мелких, чем 1:30 000, основную роль индикатора начинает играть рельеф, его мезо- и макроформы. На космических снимках 1:1 000 000 и мельче роль основного индикатора переходит к гидрометеорологическим компонентам.

При косвенном дешифрировании используются не только индикационные связи одних объектов с другими, но также связь дешифрируемого объекта или явления со всем природным комплексом. Этот прием принято называть *ландшафтным методом дешифрирования*. В этом случае растительный покров, элементы рельефа и гидрографическая сеть рассматриваются как компоненты ландшафта или других ландшафтных единиц, представленных на снимках.

Отметим, что существует принципиальное различие между ландшафтным подходом, ландшафтным методом и дешифрированием ландшафтов. Всем географическим наукам присущ ландшафтный подход к изучаемым природным объектам, отношение к ним как к природным комплексам различного ранга. Ландшафтный метод является особым приемом, способом исследования, например, вод, растительного покрова отдельных территорий. Он используется как самостоятельно, так и в сочетании с иными методами дешифрирования. Дешифрирование ландшафтов является частным видом дешифрирования и имеет конкретную задачу изучения природных комплексов, систем различного рода с помощью аэрокосмических снимков.

В процессе дешифрирования прямые и косвенные признаки обретают разную значимость в зависимости от характера местности, изобразительных свойств снимков, времени съемки и др. Следует заметить, что абсолютных признаков, используя которые можно со стопроцентной достоверностью распознать некий объект всегда и везде, не существует. Хотя, конечно, встречаются признаки специфические (неповторимые) и широко распространенные (повторяющиеся). К широко распространенным относятся большинство признаков природного

происхождения, например растительность различных географических зон. Признаки антропогенного происхождения, например промышленные предприятия, как правило специфичны. По области применения признаки делятся на локальные, повсеместные и глобальные. Последними являются, например, рисунки песчаных гряд, характерные для пустынь как на Земле, так и на Марсе. В зависимости от времени съемки признаки могут быть сезонными, связанными с погодными условиями и в целом с климатическими особенностями на данной территории. Кроме того, признаки могут быть более или менее устойчивыми или неустойчивыми, т.е. проявляющимися только при некоторых состояниях объекта съемки, времени и при использовании конкретных технических средств съемки. Одни и те же признаки в разных природных условиях могут характеризовать различные предметы и разные их свойства.

Ландшафтные прямые и косвенные признаки в основном локальны. Но среди всего их множества можно выделить типичные, многократно повторяющиеся сочетания — рисунки изображения. Одна из задач дешифрирования состоит в том, чтобы составлять сводки признаков, хранить и систематизировать их, сводя в банки данных. Удачной формой такой работы является составление эталонов-ключей, с помощью которых раз установленные признаки могут быть сохранены, систематизированы и использованы.

Глава 7

ЗРЕНИЕ И ЗРИТЕЛЬНОЕ ВОСПРИЯТИЕ

7.1. ГЛАЗ И ЗРЕНИЕ

Окружающий нас мир мы воспринимаем всеми органами чувств: но все же главную роль играют глаза. По словам Леонардо Да Винчи, «глаз на соответствующем расстоянии и в соответствующей среде меньше ошибается в своем служении, чем всякое другое чувство...». Глаза человека играют исключительно важную роль в процессе дешифрирования снимков. Изображение воспринимается и вся информация извлекается из снимков благодаря зрению, кроме тех, пока редких случаев, когда считывание информации поручается автомату. Поэтому необходимо знать устройство глаза и свойства зрительного восприятия.

В акте зрительного восприятия участвуют глаза, выполняющие функции датчиков, зрительные нервы и центры в затылочных долях коры большого мозга, в совокупности составляющие *зрительный анализатор*. Таким образом, человек видит (воспринимает) окружающий мир глазами, а истолковывает увиденное умом (мозгом).

Глаз человека имеет почти правильную шарообразную форму. Он состоит из сосудистой и сетчатой оболочки, внутри которой находится стекловидное прозрачное тело. Передняя часть оболочки называется роговицей. За роговицей помещается радужная оболочка, в середине которой имеется отверстие, называемое зрачком. Внутренняя поверхность оболочки состоит из светочувствительных клеток, связанных разветвлениями зрительного нерва с головным мозгом (рис. 7.1).

Оптическая система глаза проецирует изображение на сетчатку. Сетчатка содержит светочувствительные элементы — колбочки и палочки, каждая размером 0,004 мм. Общее число зрительных элемен-

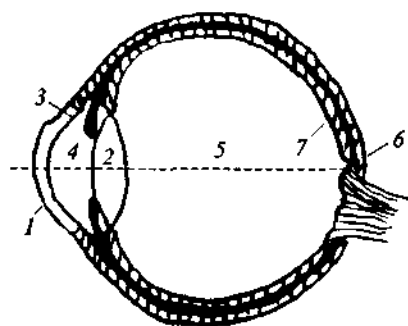


Рис. 7.1. Глаз и его устройство
1 — роговица, 2 — хрусталик, 3 — зрачок, 4 — радужная оболочка, 5 — стекловидное тело, 6 — центральная ямка, 7 — светочувствительная сетчатая оболочка

тов составляет $7 \cdot 10^6$ колбочек и $130 \cdot 10^6$ палочек. Колбочки образуют аппарат дневного зрения, палочки — сумеречного зрения. Угол поля зрения глаза в вертикальной плоскости составляет примерно 100° , в горизонтальной — около 120° .

Но наибольшей чувствительностью к свету обладает участок сетчатки, называемый желтым пятном. Самой чувствительной частью желтого пятна является центральная ямка, где плотность зрительных элементов (колбочек) достигает $1,8 \cdot 10^5$ штук на 1 мм^2 . Нервные волокна каждого глаза собраны в три главных пучка, идущих к разным частям сетчатки. В том месте, где зрительный нерв входит в глаз, на поверхности глазного дна нет светочувствительных элементов — это слепое пятно. Луч, соединяющий рассматриваемую глазом точку с местом наилучшего видения — центральной ямкой, называется визирной линией (осью). При рассматривании предметов глаза поворачиваются таким образом, чтобы изображение точки, на которой сосредоточен взгляд, получалось именно в центральной ямке желтого пятна.

Оптическая система глаза может иметь некоторые недостатки. Наиболее часто встречающиеся из них — дальнозоркость и близорукость; если они вполне корректируются очками, не мешают работе со снимками.

Чтобы получить отчетливое зрительное восприятие рассматриваемого предмета, глаз фокусируется, т. е. наводится на резкость. Это достигается путем изменения кривизны поверхности хрусталика, что приводит к изменению его фокусного расстояния. Такая способность глаза, не зависящая от нашего сознания, называется *аккомодацией*. Для нормального глаза наилучшим считается расстояние от рассматриваемого предмета, равное 25 см. На близком расстоянии аккомодация возможна только с напряжением, и зрительное восприятие ухуд-

шается, на большем удалении перестают различаться детали. Глубина резкого восприятия глаза такова, что, если он аккомодирован на бесконечность, он одновременно видит ясно все предметы, находящиеся дальше 14 м от него. С возрастом способность глаза к аккомодации ослабевает. Расстояние наилучшего зрения увеличивается, наступает дальнозоркость.

Величина различных глазом деталей зависит от размера воспринимающих элементов. *Острота зрения* обычно характеризуется минимальным промежутком между объектами, который глаз в состоянии видеть. Она оценивается величиной, обратно пропорциональной физиологическому предельному углу, соответствующему минимальным различимым деталям. Разрешающая способность нормального глаза при нормальных условиях рассматривания, оцененная в угловых единицах, составляет примерно $1'$, а в линейных единицах — около 0,05–0,08 мм. Точность ручных графических построений оценивается в 0,2 мм, с помощью графопостроителей — в 0,1 мм. Считается, что это точность построения картографических изображений, в том числе, полученных по снимкам.

Предельный угол остроты зрения для разных лиц сильно различается. Он зависит также от наблюдаемого контраста. Например, белый квадрат на черном поле может быть виден под углом около $20''$. Относительное смещение двух отрезков, расположенных на продолжении один другого, воспринимается под еще меньшим углом. Точно так же неразличимая неподвижная точка становится видимой, как только начинает двигаться. Эти возможности зрительного восприятия используются при всякого рода измерениях. В практике же дешифровочных работ предельная ошибка определения положения и обозначения точек и контуров принимается равной 0,1–0,2 мм.

Зрительное восприятие подвижно. Во-первых, глаза производят произвольные колебательные движения относительно направления зрительной оси — это так называемый тремор. Он обуславливает саму возможность зрительного восприятия. Благодаря сдвигу точки зрения изображение в мозгу наблюдателя воспроизводится непрерывно. При полной остановке глаз наблюдателя изображение на сетчатке «затухает». Во-вторых, наблюдатель последовательно, но не всегда в полной мере осознанно просматривает изображение преимущественно вдоль контурных линий, образующих остоу картины. Контур, создающие рисунок изображения, несут наибольшую часть информации о предметах и явлениях, слагающих объект съемки.

7.2. БИНОКУЛЯРНОЕ И СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ

Зрительное восприятие одним глазом называется *моноккулярным*, а двумя глазами — *бинокулярным*. Бинокулярное зрение, позволяющее непосредственно воспринимать глубинность пространства и пространственные формы наблюдаемых объектов, называется *стереоскопическим*.

При рассмотрении какого-либо предмета одновременно правым и левым глазами, глаза поворачиваются так, что их визирные линии пересекутся в точке фиксации, принадлежащей предмету наблюдения. Наблюдатель таким образом засекает наблюдаемые точки зрительными лучами с двух центров, расположенных на некотором расстоянии друг от друга, называемым базисом. В зависимости от индивидуальных особенностей наблюдателей глазной базис (расстояние между зрачками) колеблется в пределах от 52 до 74 мм. В среднем он составляет 65 мм. Если глаза не сведены на фокусируемом предмете, то изображение двойится в глазах. По этой причине при некоторых дефектах зрения стереоскопическое рассматривание снимков может оказаться вообще невозможным.

Свойство глаз поворачиваться по отношению к объекту наблюдения называется *конвергенцией*. Угол пересечения визирных осей носит название *угла конвергенции*. Очевидно, чем ближе наблюдаемая точка, тем больше угол конвергенции. Таким образом, угол конвергенции является мерилем расстояния от глазного базиса до рассматриваемой точки. В соответствии с этим происходит *аккомодация* глаз.

При фиксации внимания на некоторой точке глаза одновременно видят ряд других точек. Изображения этих точек на сетчатке сдвинуты относительно центральных ямок. Если две точки A и C расположены на разном расстоянии от наблюдателя, их изображения сдвинутся на различную величину. Это и создает впечатление глубины пространства (рис. 7.2).

Разность двух смещений в глазах $ac - a'c' = \sigma$ называется *бинокулярным физиологическим параллаксом*. Для всех точек, не смещенных по глубине, физиологический параллакс $\sigma = 0$. Чем больше глубинное отстояние точек, тем больше параллакс. Но при параллаксе более 0,4 мм наблюдаемые точки начинают двоиться, стереокартина разрушается.

Очевидно, что физиологический параллакс точек определенным образом связан с разностью углов конвергенции, под которым видны

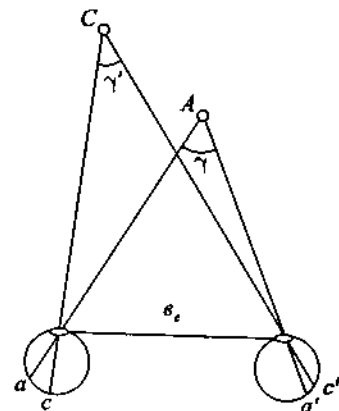


Рис. 7.2 Стереоскопическое зрение

эти точки. Для малых углов конвергенции можно приближенно считать, что расстояние от глазного базиса до точки наблюдения L равно отношению глазного базиса b_e к углу конвергенции γ , выраженного в радианах,

$$L = \frac{b_e}{\gamma}.$$

Предельно малое изменение угла конвергенции, воспринимаемое наблюдателем, называется *остротой стереоскопического зрения* $\Delta\gamma$. *Острота стереоскопического зрения* принимается равной $30''$. Но минимальное отстояние между точками, соответствующее остроте стереоскопического зрения, существенно зависит от дальности наблюдения. Определим предел стереоскопического восприятия глубины L_0 , используя приведенную выше формулу и положив, что угол конвергенции γ равен остроте стереоскопического зрения $\Delta\gamma$:

$$L_0 = \frac{b_e}{\Delta\gamma}.$$

Полагая $\Delta\gamma = 30'' = 1.45 \cdot 10^{-4}$, $b_e = 65$ мм, найдем, что $L_0 \approx 450$ м.

Данное расстояние ограничивает радиус стереоскопического зрения невооруженными глазами. Радиус и остроту стереоскопического зрения можно увеличить, если применять для наблюдений (или съемок) оптические приборы с большим базисом: стереотрубы, оптические стереодальномеры и др. Радиус стереоскопического зрения при этом увеличивается пропорционально отношению b_t (базиса прибора) к b_e (базису глаза). Это отношение принято называть *удельной пластикой прибора*.

Острота стереоскопического зрения, которую для расчетов приняли равной $30''$, на самом деле величина непостоянная, зависящая от индивидуальных свойств и состояния наблюдателя и внешних условий наблюдения. Острота стереоскопического зрения заметно падает при недостатке и избытке освещения, при малом контрасте между объектом наблюдения и фоном. Значительное влияние на остроту стереоскопического зрения оказывает форма наблюдаемых объектов, соотношение вертикальных и горизонтальных элементов в рисунке изображения и др. Необходимо заметить, что порог глубины стереоскопического зрения связан с длительностью наблюдения. Максимальный стереоэффект наступает через некоторое время после начала наблюдения и с накоплением усталости его острота снижается.

7.3. СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ СНИМКОВ

При дешифрировании имеет место как монокулярное рассматривание снимков, например, через лупу, так и бинокулярное и стереоскопическое наблюдение. Стереоскопическое наблюдение снимков возможно при наличии стереопары, т. е. двух перекрывающихся снимков, полученных с различных точек трассы полета или орбиты. При аэро съемке стереопары получаются из каждой двух соседних по маршруту снимков. При продольном перекрытии снимков более 50% стороны кадра практически вся заснятая территория может быть просмотрена стереоскопически. При космической съемке приходится делать более сложные расчеты, чтобы, например, добиться нужного перекрытия снимков соседних трасс или даже через одну-две трассы. В конструкциях некоторых съемочных систем ресурсных ИСЗ предусмотрено покачивание зеркала, объектива или всей камеры вправо-влево или же поочередная съемка вниз и вперед по направлению полета, чтобы получить снимки с перекрытием.

Если сфотографировать местность из точек съемки S_1 и S_2 , отстоящих друг от друга на некотором расстоянии, называемом базисом съемки B , то точки местности A, C, D изобразятся на левом и правом снимках p_1 и p_2 в точках a_1, c_1, d_1 и a_2, c_2, d_2 (рис. 7.3).

При стереоскопическом рассматривании этой пары снимков в точках S_1 и S_2 располагаются глаза, а съемочный базис уменьшается до размера глазного базиса b_e . Тогда зрительные лучи займут такое же положение, как и при рассматривании объектов местности в натуре, но с учетом масштаба снимка. Поэтому, рассматривая пару соответ-

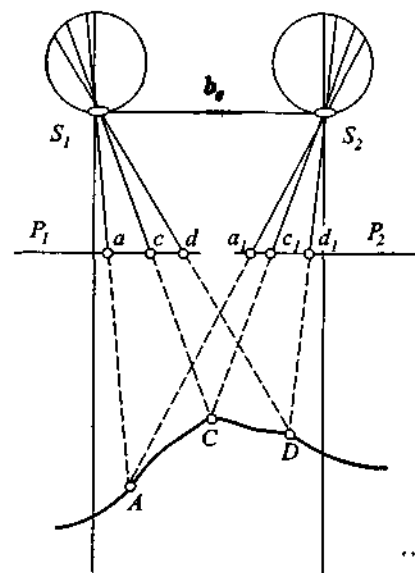


Рис. 7.3. Стереоскопическая модель местности

ствующим образом ориентированных снимков, видят пространственное изображение местности, которое называется *стереоскопической моделью*.

Если аэроснимки изучаются в таком положении, какое они занимали при съемке, причем левым глазом рассматривается левый снимок, а правым — правый снимок стереопары, то возникает так называемый прямой стереоэффект, при котором формы объектов соответствуют их действительному виду: холмы воспринимаются как возвышенности, а впадины как понижения. Повернув каждый снимок на 180° или поменяв местами, можно получить обратный стереоэффект: горы воспримутся как впадины, а реки будут казаться протекающими по гребням хребтов (рис. 7.4).

Существуют различные приемы разделения лучей левого и правого глаза, т. е. разные способы стереоскопических наблюдений изображений: анаглифические, оптические, способы автостереоскопии, поляризационный и другие.

Анаглифический способ стереонаблюдений основан на разделении лучей правого и левого глаза путем окраски парных изображений в дополнительные цвета: красный и синий (или зеленый). Этот способ употребляется при рассматривании совмещенных изображений левого

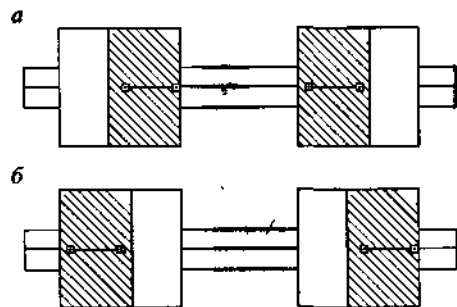


Рис. 7.4. Ориентирование снимков под стереоскопом а — прямой стереоэффект, б — обратный стереоэффект

и правого снимков. На единую основу печатают (или проецируют) одно на другое два изображения в красном и синем цветах. Совмещенное изображение рассматривается через анаглифические очки с красными и синими стеклами. Этот способ наблюдений используется в некоторых стереоизмерительных и стереокартографических приборах. Однако в целом он неудобен из-за того, что совмещенное цветное изображение невозможно использовать вне рассматривания через разноцветные очки.

Объемное изображение может быть также получено *способом автостереоскопии*. Два перекрывающихся изображения разрезаются на очень узкие полоски и впечатываются поочередно полоска за полоской на основу. Сверху изображение покрывается тонким слоем прозрачного материала с выдавленным полуцилиндрическим растром так, чтобы направление разрезов снимков совпадало с направлением раstra. Рассматривая такое изображение невооруженными глазами, можно видеть изображение объемным. Способ нашел применение в художественной фотографии. Предполагалось также использовать автостереоскопию при создании карт и атласов. Однако реализация этих идей задерживается.

Поляризационный способ стереоскопии заключается в следующем. Перед проекторами и перед глазами помещаются поляризационные фильтры. Снимки проецируются в свете, поляризованном в двух взаимноперпендикулярных плоскостях. Таким образом, каждый глаз видит свое изображение. Последнее достижение в области стереоскопии — это стереоизображение, воспроизводимое на экране компьютера, которое также следует рассматривать в специальные очки.

Оптический способ стереоскопических наблюдений осуществляется с помощью специальных оптических приборов — стереоскопов. В дешифровочной и стереоизмерительной практике наибольшее приме-

нение имеют оптические приборы — стереоскопы различной конструкции: зеркальные, линзово-зеркальные, линзовые. Зеркальный стереоскоп был изобретен более 150 лет назад (в 1832 г.). В последующие десятилетия конструкция стереоскопов совершенствовалась, но и сейчас в принципе она осталась такой же: стереоскопы обеспечивают наиболее легкое разделение лучей зрения и слияние видимых правым и левым глазами изображений в единую стереоскопическую модель.

Линзово-зеркальный стереоскоп (ЛЗ) состоит из двух пар зеркал, расположенных под углом к снимкам и глазам так, как это показано на рис. 7.5.

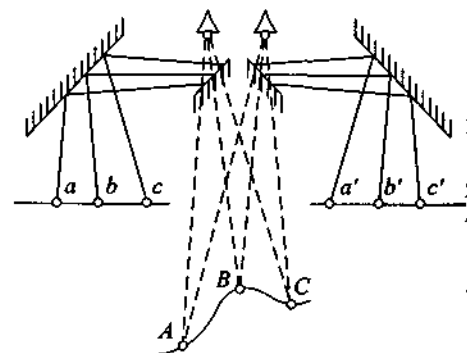


Рис. 7.5. Схема устройства зеркального стереоскопа

Чтобы увеличить видимую стереомодель, между зеркалами устанавливаются линзы. Стереоскоп ЛЗ предназначен для стереоскопического рассматривания пары снимков размера 18×18 см. Увеличение оптической системы 1,3–1,5 крат. Поле зрения: вдоль прибора — 100 мм, поперек прибора — 150–180 мм.

Снимки размещаются под стереоскопом таким образом, чтобы отмеченный на них базис съемки составлял одну прямую, параллельную базису стереоскопа. В свою очередь глазной базис наблюдателя должен быть параллелен базису стереоскопа, а глаза наблюдателя должны находиться в непосредственной близости от верхних зеркал. Для получения устойчивого стереоэффекта снимки сдвигают или раздвигают, не нарушая их ориентировки по базисам.

Правильно ориентированные под стереоскопом снимки могут оказаться повернутыми под некоторым углом друг к другу. Это связано с ошибками в повороте аппарата в момент съемки по отношению к истинному направлению полета, а также из-за сноса самолета.

В 80-х годах в СССР, главным образом для аэрофототопографи-

ческих работ, был введен стандарт, который предусматривал стереоскопы двух типов: для полевых и камеральных работ (СП и СК). Они различались возможностью рассматривать кадры разных размеров: 20×10 см, 18×18 см, 30×30 см и даже 50×50 см. Стереоскоп СКФ-300 был приспособлен для работы с неразрезанными фильмами. Стереоскоп СК-500 позволял видеть стереомодель с плавно меняющимся увеличением.

Используются также стереоскопы других конструкций, среди них призмочно-зеркальные, например, СЗС с откидной бинокулярной головкой. Увеличение такого стереоскопа можно устанавливать в $1,6^x$ и 8^x . В комплект стереоскопа СЗС входят стол для стереоскопического просмотра диапозитивов и негативов на просвет и параллаксмер. В некоторых разновидностях стереоскопов в комплект входят простейшие устройства типа пантографа, позволяющие сразу же вычерчивать результаты дешифрирования на картографической основе.

Среди таких приборов разной сложности можно упомянуть стереоскоп СИ-2 (стереоскоп измерительный), для работы со снимками размером 30×30 см с увеличением 2^x и 6^x . К приборам для дешифрирования и обновления карт относится, например, «Интерпретоскоп». Из зарубежных моделей можно отметить стереоскоп Арт-1 (фирма Вильд, Швейцария). Стереоскопы, помимо непосредственного использования, составляют важную часть любых стереофотограмметрических приборов.

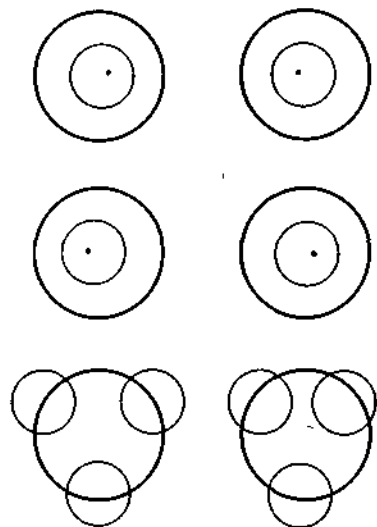


Рис. 7.6. Тренировочный тест для получения стереоэффекта без прибора.

Между тем в практике дешифрирования, особенно при работе в полевых условиях, очень ценным является умение стереоскопически рассматривать снимки невооруженными глазами. После некоторой тренировки можно научиться смотреть правым глазом на правый снимок и левым глазом — на левый и получать стереоэффект без стереоскопа. Для тренировок используются специальные графические картины (рис. 7.6).

Для разделения лучей левого и правого глаза на первых порах можно пользоваться куском картона или ладонью, поставленными между изображениями перпендикулярно плоскости наблюдений.

7.4. ЗРИТЕЛЬНОЕ ВОСПРИЯТИЕ ЯРКОСТИ И ЦВЕТА

Глаза независимо от сознания человека приспосабливаются к яркости света изменением диаметра зрачка. Обычно диаметр зрачка равен 3–4 мм, но может сужаться и расширяться от 2 до 8 мм. При увеличении яркости света радужная оболочка, размещающаяся перед хрусталиком, сжимается и зрачок уменьшается, а при уменьшении яркости света — увеличивается. Таким образом регулируется количество света, попадающего в глаз. Эта способность называется *адаптацией*.

Относительные яркости объектов отличаются во много раз и глаз способен ощущать световые раздражения различной силы. Обнаружение в природе и на снимках одних объектов среди других зависит от оптического контраста между ними или между изображением объекта и фоном. Минимальная разность яркостей, различимая глазами, называется различительной чувствительностью, или *порогом контрастности*, обозначаемой K , и характеризуется отношением минимальной, но еще воспринимаемой глазами разности яркостей объекта и фона ΔB , к яркости фона B :

$$K = \frac{\Delta B}{B}.$$

При средних яркостях объектов величина K постоянна (закон Э. Вебера). Г. Фехнер математически обработал результаты наблюдений и вывел формулу

$$E = K \ln B + C,$$

где E — интенсивность ощущения, а K и C — постоянные. Эта формула выражает основной психофизиологический закон Вебера-Фехнера,

который устанавливает, что интенсивность ощущения (в данном случае света) растет пропорционально логарифму раздражения.

Порог контрастности глаза равен примерно 2%. Теоретически это означает, что в оптическом клине глаз может различать 50 разнотонных ступеней, от черной до белой. Практически на снимках различимы только 7 или 9 ахроматических тонов, которыми и оперирует дешифровщик при работе со снимками. Когда при дешифрировании пользуются словесными определениями тонов, препятствием служит недостаточная четкость таких определений. Трудно становится оперировать более чем пятью тонами так как большее их число очень приблизительно определяется словами. Основные тона: светло-серый, серый, темно-серый, черный. Крайние тона — белый и черный — могут и не иметь места. Белым тоном на панхроматических фотоснимках изображаются пески, снега, льды, облака, отблеск от водной поверхности. Этих объектов может и не быть на снимках. Черным тоном изображаются глубокие тени, водная поверхность в инфракрасной зоне спектра и др. Л. М. Богомолов в свое время предлагал использовать словесную шкалу из семи ступеней, или баллов. Белый и черный тона в этой шкале определяются как крайние визуально различимые. Таким образом, для каждого случая шкала получается особой, нестандартной. В международной колориметрической системе всего три подразделения тонов: белый — серый — черный. Словесные определения тонов недостаточны для работы со снимками и фиксации признаков объектов. Для более определенного описания изображения следует пользоваться градуированной стандартной шкалой тонов в виде светового ступенчатого клина.

Имеется три вида светоощущающих элементов сетчатки (колбочек), каждый содержит фоторецепторы, чувствительные либо к синим, либо к зеленым, либо к красным цветам. Совместная реакция трех рецепторов создает ощущение определенного цвета. Количество цветов и цветовых оттенков, которое различается наблюдателем, составляет, по разным данным, от тысячи до нескольких тысяч единиц. Отключение одного из рецепторов приводит к искаженному восприятию цветов — дальтонизму. Дешифровщик с таким дефектом зрения не может работать с цветными снимками.

В целом глаза реагируют на излучение в диапазоне электромагнитных волн от 390 до 760 нм. При больших яркостях человек может различать излучения в диапазоне 320–850 нм. Свет различной длины волны вызывает ощущение цветности излучения (табл. 7.1).

По мере удаления наблюдателя от объекта происходит упрощение

Таблица 7.1. Соотношение между длинами волн (в нм) и ощущаемыми цветами

Цвет	Длина волны, нм
фиолетовый	390–430
синий	430–470
сине-зеленый	470–500
зеленый	500–530
желто-зеленый	530–560
желтый	560–590
оранжевый	590–620
красный	620–760

воспринимаемой цветовой гаммы и, кроме того, возникают смещения цветов. Некоторые цвета темнеют, например, синий и темно-красный становятся почти черными. Другие цвета светлеют, а голубой с зеленым, оранжевый с красным перестают различаться между собой. При визуальном наблюдении с летательных аппаратов с высот более 300–400 м искажения цветов становятся значительными.

Описание цветов изображения при дешифрировании должно опираться на стандартную шкалу цветов. В международной колориметрической системе приняты такие цвета: синий, фиолетовый, зеленый, желтый, оранжевый, красный и коричневый. Такой шкалы цветов при дешифрировании может оказаться недостаточно для описания реальной многоцветности ландшафта. Нужна номенклатура цветов, аналогичная принятой в некоторых науках: ботанике, минералогии и др.

7.5. ЗРИТЕЛЬНОЕ ВОСПРИЯТИЕ ПЛАСТИЧНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Представление о пластике изображения формируют вторичные или психофизиологические факторы объемного зрительного восприятия: видимая величина предметов, линейная и воздушная перспектива, загромождение одних предметов другими («эффект кулис»), цветовой и тональные контрасты, светотень и др.

По углу зрения, под которым видны известные предметы, можно судить об их удаленности и, следовательно, о взаимном пространственном размещении. Рассматривая снимки, дешифровщики всегда стремятся найти такие предметы, размеры которых хотя бы приблизительно были известны: дома, деревья и др. С помощью таких зрительных эталонов размеры прочих объектов и местность в целом вос-

принимаются правильно. Если таких объектов нет, могут возникнуть значительные ошибки в восприятии изображения. Масштаб снимков, даже если он известен, не дает все же наглядного представления о натуральных размерах объектов. В этом случае полезно на снимках обозначить линейный масштаб.

Перспектива линейная и воздушная воспринимается на снимках, снятых со значительным наклоном. На космических снимках кривизна поверхности Земли визуальна воспринимается благодаря нарастающей перспективности к краям снимков. Однако это характерно только для снимков весьма мелкого масштаба, полученных с больших высот.

Известно, что, рассматривая фотографический снимок из центра перспективы данного изображения, т. е. с расстояния, равного фокусному расстоянию объектива аэрофотоаппарата, можно добиться эффектного впечатления рельефности и глубины снятого пространства.

Зрительное восприятие рельефа наилучшим образом передается светотенями. Тени разделяются на собственные и падающие. Собственной называется тень, покрывающая часть объекта, не освещенную Солнцем или иным источником света (излучения). Переходы от света к тени передают строение поверхности. Резкие границы между освещенными и затененными частями свидетельствуют о наличии разноориентированных поверхностей. Плавная изменяющаяся светлота тени дает представление о мягком изгибе поверхности. Наличие теней на снимках позволяет определять направление хребтов и долин, положение отдельных вершин и впадин.

Светотеневой рисунок изображения местности зависит от направления освещения и угла падения теней и в течение суток может существенно меняться. При солнечном освещении оптимальным углом освещения считается примерно 30° . Светотеневой рисунок возникает также на радиолокационных снимках, полученных РЛ БО (радиолокатором бокового обзора). Но радарная съемка производится в том же направлении, в каком облучается местность, и выбор иного положения невозможен, и картинки на фото и радарных снимках чаще всего не совпадают.

Пространственное впечатление создает также общий рисунок изображения, например: рисунок речной сети, расположение пахотных земель, структура населенных пунктов и др. Большую роль играет цветовая структура рисунка, цветовыми контрастами подчеркивается смена растительного покрова, например в горах.

Вторичные факторы объемного видения могут придать плоскому изображению значительную пластичность. Но они же могут стать ис-

точником разнообразных зрительных иллюзий. Следует также отметить, что квазистереоскопическое видение возникает не столько по ощущению, сколько за счет истолкования воспринятого изображения и поэтому зависит от опыта наблюдателя.

7.6. ЗРИТЕЛЬНЫЕ ИЛЛЮЗИИ

Воспринимаемый зрением образ может быть более или менее искаженным и не соответствовать действительности. Возможен обман зрения — оптические, или зрительные, иллюзии. Но обманываться могут как глаза, так и мозг. Иначе говоря, можно либо неверно ощущать, либо неверно истолковывать видимое. Таким образом, причины зрительных иллюзий могут быть физиологическими, зависящими от устройства органов зрения, и психологическими, зависящими от ранее полученных представлений, суждений, т. е. от сознания.

Сила иллюзорного видения может быть различной. Она зависит от изобразительных свойств объекта изучения — снимков, условий их рассматривания, психофизиологических характеристик наблюдателя. Значение иллюзий также может быть разным. Иллюзии — это не всегда только помехи. Из опыта известно, что зрительные иллюзии делятся на три разновидности:

1) *иллюзии эфемерные*, легко разрушающиеся, как только наблюдателю становится известным истинное положение вещей. Таковы все психологические иллюзии, обманы суждения. К ним относится, например, иллюзорное, неправильное суждение об истинных размерах объектов на снимках, не содержащих каких-нибудь эталонных предметов известных размеров. Чтобы избежать ошибок, нередко на снимках помечают линейный масштаб, например отрезок, равный одному километру или мили;

2) *иллюзии неустойчивые*, корректируемые мышлением, которые могут быть сознательно преодолены наблюдателем. Широко известна, например, иллюзия объемности земной поверхности гор, холмов, долин, оврагов, возникающая при наличии светотени. Эта иллюзия создает правильное и неправильное, обратное, впечатление о рельефе. Чтобы оно было правильным, снимки для рассматривания располагают таким образом, что источник света (лампа) заменила Солнце и тени падали к наблюдателю. Обратный эффект возникает, если снимки повернуть на 180° . Однако возможна и такая ситуация, при которой неизвестно, какое из двух восприятий рельефа правильное и какое ложное (рис. 7.7).

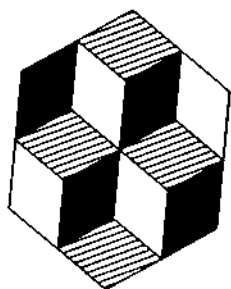


Рис 7.7. Иллюзия меняющегося рельефа

Известно, например, что по этой причине на снимках Марса вулканический конус был воспринят и истолкован как глубокий кратер. Особого рода зрительная иллюзия (Ферч-эффект, или эффект Пульфриха) возникает при рассматривании неравномерно освещенных снимков стереопары. Светлые или более яркие участки кажутся выше темных;

3) *иллюзии устойчивые*, которые не исчезают, даже если дешифровщику хорошо известно, что наблюдаемое не соответствует действительности. Обычно такие иллюзии имеют физиологическое происхождение. Таково, например, искусственное стереоскопическое видение Стереомодель, рассматриваемая в стереоскоп, — пример такой устойчивой иллюзии. Устойчивый характер имеют также иллюзии светового и тонового контрастов, при которых серое пятно на темном фоне кажется светлее, чем оно же на белом фоне. В действительности могут возникать одновременно различные иллюзии.

При стереоскопическом рассматривании снимков имеет место эффект приближения светлых и удаления темных мест стереомодели на равнинных участках местности, где стереоэффект недостаточно выражен. Кроме того, по разным причинам возникает деформация всей стереомодели. Она возникает, во-первых, из-за неточного взаимного ориентирования снимков и невыравниваемости их в плоскость под стереоскопом, во-вторых, из-за особенностей оптической системы стереоскопа, в-третьих, из-за геометрических особенностей изображения.

Видимые формы объемного изображения зависят от положения стереоскопа над снимками и глаз по отношению к стереоскопу. В этом легко убедиться, передвигая прибор параллельно базису съемки над стереопарой снимков. Наблюдаемые при этом вершины гор будут казаться «качаться».

Существует ряд правил, позволяющих избежать видимых искаже-

ний. Стереоскоп надо поставить так, чтобы оба глаза смотрели на идентичные точки изображения на левом и правом снимках. Если изображение наблюдаемого объекта на одном из снимков смещено к центру, а на втором к краю снимка, то положение стереоскопа следует скорректировать так, чтобы один глаз смотрел прямо вниз, а другой рассматривал изображение под углом. Если изображение объекта находится на верхнем или нижнем краях стереомодели, стереоскоп следует поставить над ее центром и рассматривать объект со стороны.

Одно из наиболее существенных искажений стереомодели — несовпадение ее вертикального и горизонтального масштабов. Относительная величина искажения определяется коэффициентом вертикального увеличения μ , по формуле

$$\frac{1}{m_v} = \frac{\rho_0 \cdot b}{b_e \cdot f} \cdot \frac{1}{m_h},$$

отсюда

$$\mu = \frac{m_h}{m_v} = \frac{\rho_0 \cdot b}{b_e \cdot f}, \quad 7.1$$

где — m_h — знаменатель горизонтального масштаба; m_v — знаменатель вертикального масштаба; ρ_0 — расстояние наилучшего зрения, примерно 240–250 мм; f — фокусное расстояние объектива фотоаппарата; b_e — глазной базис (расстояние между зрачками, примерно 65–67 мм); b — базис съемки в масштабе снимка.

Для снимков формата 18 × 18 см с перекрытием 60% можно принять, что базис глазной b_e равен базису съемки b , тогда формулу (7.6.) можно упростить:

$$\mu \approx \frac{\rho_0}{f}.$$

Отсюда следует, что при съемке АФА с объективом, имеющим фокусное расстояние меньше 200 мм, всегда получается вытянутая по вертикали стереомодель, причем чем меньше фокусное расстояние, тем более вытянутой является стереомодель. Это обстоятельство совершенно необходимо учитывать при всякого рода глазомерных оценках площадей, высот, углов наклона местности и вообще при всяком визуальном дешифрировании.

Глава 8

ИЗМЕРЕНИЯ НА СНИМКАХ

8.1. ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИН ЛИНИЙ

Если местность представляет собой горизонтальную плоскость, а оптическая ось фотоаппарата перпендикулярна ей, то, как уже известно, масштаб $1:m$ будет одинаков по всему снимку и равен отношению фокусного расстояния АФА f к высоте фотографирования H

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H}$$

На таком снимке длина линии определяется по формуле

$$L = l \frac{H}{f}, \quad (8.1)$$

где L — длина линии в натуре, а l — длина линии на снимке

В этом случае ошибка измерения длины линии зависит от точности самого измерения и точности определения высоты фотографирования. Дифференцируя формулу (8.1) и переходя к ошибкам, получим

$$\Delta L = \Delta l \frac{H}{f} + \Delta H \frac{l}{f} \quad (8.2)$$

Из (8.1) и (8.2) выведем формулу относительной ошибки длин линий

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta H}{H}$$

Если исключить грубые промахи, ошибка измерения линии может быть принята постоянно равной графической точности построения

0,2 мм. Высота фотографирования определяется радиовысотометром с ошибкой, равной примерно ± 2 м. Отсюда получается, что ошибка измерения линии тем меньше, чем длиннее измеряемая линия и больше высота фотографирования.

Реальные снимки имеют искажения из-за их наклона и влияния рельефа. Относительная ошибка измерения длины прямолинейных отрезков из-за влияния наклона снимка подсчитывается по формуле, которая выведена в фотограмметрии

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{r}{f} \sin \varphi \sin \alpha,$$

где f — фокусное расстояние АФА, φ — угол между измеряемым отрезком и линией нулевых искажений, α — угол наклона снимка, r — расстояние от точки нулевых искажений до конца отрезка.

Формула выведена для случая, когда измеряемый отрезок проходит через точку нулевых искажений. Максимальное искажение будет при условии $\sin \varphi = 1$, когда измеряемый отрезок лежит поперек линии нулевых искажений. Пользуясь этой формулой, можно подсчитать ожидаемые ошибки измерений из-за влияния угла наклона снимков (табл. 8.1). Очевидно, что для произвольно расположенного отрезка величины ошибок могут быть большими.

Таблица 8.1 Ожидаемые относительные ошибки измерения длины линии на снимках с различными углами наклона, %

$r, \text{ мм}$	$f = 100 \text{ мм}$		$f = 200 \text{ мм}$	
	$\alpha = 1^\circ$	$\alpha = 2^\circ$	$\alpha = 1^\circ$	$\alpha = 2^\circ$
10	0,2	0,3	0,1	0,17
20	0,4	0,7	0,2	0,3
50	0,9	1,7	0,4	0,9
100	1,8	3,5	0,9	1,7

На снимках, полученных длиннофокусными АФА, измерения проводятся точнее. Это справедливо всегда, когда для измерений используются плановые снимки, плоское изображение. Если используются снимки с незначительными углами наклона, которые при съемке с гирорамой не превышают $30'$, а измерения проводятся в центральных частях снимков в пределах рабочей площади, то искажения из-за наклона снимков не будут большими. Значительно большие ошибки возникают из-за рельефа.

Истинная длина прямолинейного отрезка L , произвольно расположенного в пространстве съемки и на снимке, может быть подсчитана

по формуле, предложенной Н. Г. Келлем:

$$L = \frac{H_t}{f} \left(l + \frac{h}{H_t} l_b \right) = \frac{H_t}{f} \left(l - \frac{h}{H_b} l_t \right),$$

где l — длина отрезка, измеряемого на снимке, l_t и l_b — длины верхней и нижней частей отрезка относительно перпендикуляра d , опущенного из главной точки горизонтального снимка на измеряемый отрезок, H_t и H_b — высоты фотографирования относительно верхнего и нижнего концов отрезка; h — разность высот концов отрезка; f — фокусное расстояние объектива АФА.

Выражения $+\frac{h}{H_t}l_b$ и $-\frac{h}{H_b}l_t$ суть не что иное, как величины искажения длины отрезка из-за его наклона. Отсюда получим формулу для определения относительной ошибки измерения длины линии из-за влияния рельефа

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{h}{l} \left(\frac{l_b}{H_t} \pm \frac{l_t}{H_b} \right).$$

Если перпендикуляр d касается одного из концов отрезка, то

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{h}{H_t},$$

или

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{h}{H_b}.$$

Когда $d = 0$, можно принять, что $\frac{\Delta l}{l} = \frac{h}{H}$.

Таким образом, ошибка измерений длин линий, как и следовало ожидать, зависит в конечном счете от соотношения превышений рельефа и высоты фотографирования. Как видно из данных, приведенных в табл. 8.2, фактические ошибки, особенно при малых превышениях рельефа, больше предвычисленных. Работа на увеличенных снимках снижает ошибку измерений.

Таблица 8.2 Относительные ошибки измерений длин линий на аэроснимках с различными углами наклона и рельефом местности

Относительный рельеф $\frac{h}{H}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{250}$
Угол наклона снимков, град	6	3	2	2
Ожидаемые ошибки из-за рельефа, %	8	2	1	0,4
Ожидаемые ошибки из-за наклона (максимальные ошибки), %	10,4	2,6	1,7	1,7
Фактические ошибки, %				
контактные опечатки	17	4	2,5	1
увеличенные снимки (1 2)	-	3	1,6	0,7

Длины линий на космических снимках искажаются и измеряются с ошибкой из-за влияния кривизны поверхности Земли. Относительная ошибка длины отрезка, ориентированного на центр снимка, вычисляется по формуле

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{r^2 H}{2Rf^2}.$$

Подсчитаем относительную ошибку для случая, когда r равно 100 мм, высота фотографирования $H = 300$ км, фокусное расстояние камеры $f = 100$ мм, радиус Земли $R = 6371$ км. Получим ошибку, равную примерно 2% длины отрезка.

8.2. ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ

Общая ошибка определения площадей по снимкам складывается из частных ошибок, вызванных влиянием наклона снимков, рельефом местности, кривизной поверхности Земли, а также неточного определения масштаба изображения, распознавания и обозначения контуров, несовершенством приборов и способов измерения площадей.

Ошибка из-за наклона снимка может быть подсчитана достаточно точно. Если бы она была единственным искажающим фактором, измеренные площади исправлялись бы простым введением поправок.

За счет влияния угла наклона снимка относительная ошибка определения площади S контура, произвольно расположенного в пределах снимка, может быть подсчитана по формуле

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{3y}{f} \sin \alpha,$$

где y — ордината центра снимка относительно линии неискаженных масштабов; α — угол наклона снимка; f — фокусное расстояние АФА.

Из формулы следует, что ошибки измерений уменьшаются с увеличением фокусного расстояния объектива АФА и увеличиваются с увеличением ординаты y (табл. 8.3). Практически это значит, что для измерений следует выбирать снимки, где контур располагается симметрично относительно центра снимка, поскольку на плановых снимках расстояние от главной точки снимка до точки нулевых искажений не превышает 4 мм (при $f = 200$ мм и $\alpha = 2^\circ$).

Ошибка из-за кривизны поверхности Земли появляется при измерении площадей на космических снимках. Если контур расположен

Таблица 8 3 Ожидаемые относительные ошибки измерения площадей на снимках с различными углами наклона, %

y, мм	f = 70 мм		f = 200 мм	
	$\alpha = 1^\circ$	$\alpha = 2^\circ$	$\alpha = 1^\circ$	$\alpha = 2^\circ$
10	0,8	1,5	0,3	0,5
20	1,6	3,0	0,6	1,0
50	3,9	7,5	1,4	2,6
100	7,8	15,0	2,7	5,2

симметрично относительно центра горизонтального снимка, искажение площади подсчитывается по формуле

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{r^2 H}{R f^2}$$

Оно примерно вдвое превышает относительную ошибку измерения длин линий

Ошибку из-за влияния рельефа подсчитать трудно. Она носит случайный характер и не поддается строгому учету. Поэтому рассмотрим лишь несколько частных случаев. Сравнительно редко, когда измеряемые контуры расположены на двух горизонтальных площадках с разностью высот h , ошибка измерения площади одной из них, если превышение не учтено при определении масштаба снимка, составит

$$\frac{\Delta S}{S} = 2 \frac{h}{H}$$

Общий наклон местности оказывает такое же искажающее влияние на результат измерения площади контура, как и наклон снимка. Точно так же величина ошибки уменьшается, если контур расположен симметрично относительно центра снимка (табл. 8 4)

Таблица 8 4 Фактические ошибки измерения площадей на снимках с разными углами наклона, %

Площадь фигуры, см ²	$\alpha = 6^\circ$	$\alpha = 1^\circ$
10	5,0	2,7
10-25	5,7	2,3
25-50	6,2	2,1

Большие ошибки при измерении малых площадей объясняются тем, что центры контуров оказывались ближе к краям снимков (табл. 8 5)

Таблица 8 5 Ошибки измерения площадей фигур, по-разному расположенных на снимках, %

Площадь фигуры, га	Положение контура	
	на краю снимка	в центре снимка
до 25	12	4
25-50	9	5
50-100	6	5

Сравнение ошибок измерений площадей на снимках горной и равнинной местностей показывает, что рельеф существенно снижает точность измерений, в то время как площади контуров на равнине могут измеряться с весьма малой ошибкой (табл. 8 6)

Таблица 8 6 Ошибки измерений площадей контуров на снимках равнинной и горной местности, %

Площадь контуров, га	Равнина	Горы
до 50	1,3	7,5
50-100	1,2	6,0

Наибольшие трудности возникают, когда контур расположен на крупных различно ориентированных склонах. В этом случае всю площадь приходится делить на равнонаклонные участки и измерять их порознь. Микрорельеф вносит мелкие многократно повторяющиеся смещения линии контура, при этом можно приближенно считать, что сдвиги и, следовательно, искажения и ошибки измерения компенсируются.

Нужно обратить внимание на то обстоятельство, что участок земной поверхности в пределах контура имеет как бы три площади. Во-первых, это площадь контура, полученного путем центрального проектирования на плоскость фотографического снимка. Во-вторых, площадь контура, ортогонально спроектированного на некую плоскость или поверхность относимости. Именно так проектируется местность на план или карту. В-третьих, площадь физической поверхности Земли с учетом всех неровностей рельефа.

Искажающее влияние на площадь контура оказывает тот рельеф, из-за которого происходит смещение границ контура на снимке. Смещения внутри контура приводят к местным искажениям, которые на суммарное искажение не влияют. Поэтому при подсчете искажений принимается во внимание разность высот только точек контура. Если же граница контура лежит всюду на одной высоте, искажений из-

за рельефа не должно быть, хотя внутри контура могут быть самые разнообразные местные искажения.

В нашем распоряжении пока нет удовлетворительных способов, позволяющих измерять площади физической поверхности Земли со всеми ее изгибами. Поэтому всякого рода географические расчеты, например площади водосбора и др., производятся, исходя из площади контура, ортогонально изображенного на карте, при этом учитываются лишь искажения, вносимые видом картографической проекции. Однако вполне мыслимы стереофотограмметрические приборы, на которых можно продельвать такие измерения путем автоматического суммирования длин множества параллельных профилей.

Ошибка из-за неточного определения масштаба зависит от способа его определения. В одном случае — от точности определения высоты фотографирования, в другом — от точности определения длины отрезка на снимках или снимках и карте. В целом ошибка измерения площади из-за неточного масштаба определяется отношением

$$\frac{\Delta S}{S} = 2 \frac{\Delta m}{m}.$$

Если высота фотографирования определялась радиовысотометром, ошибка не превышает примерно 2 м, что при высоте съемки 1000 м дает ошибку измерения площади 0,2%, практически неощутимую. Если же высота фотографирования определена по высотометру с ошибкой, достигающей 50 м, то погрешности в определении площадей могут оказаться очень большими, до 10%. То же самое получается, если высота съемки берется относительно средней плоскости данной местности.

На практике масштаб снимков сообщается нередко без указания величины фокусного расстояния АФА и высоты фотографирования. В этом случае более точным оказывается способ определения масштаба снимков по отношению длин отрезков, полученных на снимках и на карте или же вычисленных по геодезическим данным — координатам пары точек, распознанных на снимке. Этот способ хорош тем, что дает фактический масштаб реальных снимков с учетом деформации негативов и позитивов в процессе фотообработки. Опытным путем установлено, что из-за деформации фотоматериалов площади выделенных контуров искажаются на 1–2,5%.

Ошибка в распознавании и обозначении линии контура оценивается примерно в 0,15 мм. Этот вывод сделан относительно легко различимых контуров, ошибка обозначения которых не зависит от точности распознавания и почти целиком равна ошибке вычерчивания. Но при-

ходится иметь дело также с контурами, трудно распознаваемыми на снимках. Тогда ошибки распознавания увеличиваются и, например, при выделении почвенных контуров достигают 0,2–0,6 мм.

Ошибка собственно измерения площади на снимках зависит от выбранного способа измерения. Определение площади криволинейных фигур обычно производится планиметром или палеткой. Технические ошибки, вносимые методом и инструментом для измерений, меньше тех ошибок, которые возникают из-за искажений изображений на снимках. Поэтому во многих случаях измерение площадей на снимках можно продельвать упрощенными способами: при одном-двух обводах планиметром или палеткой. Когда же собственные искажения снимков невелики, появляется возможность добиться более высокой точности результатов, дублируя измерения несколькими обводами планиметром.

8.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВ НАКЛОНА МЕСТНОСТИ

Известны три способа определения углов наклона местности на снимках: *глазомерно-стереоскопический, стереофотограмметрический и инструментальный.*

Глазомерное определение крутизны склонов требует достаточно опыта и натренированности наблюдателя, а также учета видимой деформации стереомодели. Тренировка дешифровщика может производиться на снимках по склонам с известной крутизной или на специальных стереомакетах, на которых изображены пирамиды с заданными углами наклона их граней. Опыт позволяет утверждать, что в результате таких тренировок углы наклона могут быть определены с ошибкой, не превышающей 2–4°, что в ряде случаев вполне допустимо.

На точность определения углов наклона влияет известное преувеличение вертикального масштаба стереомодели. Расчеты показывают, что при углах наклона, не превышающих 15°, искажением из-за деформации стереомодели можно пренебречь, так как оно не будет превышать ошибок определения. Для того, чтобы результаты измерений были более надежными, рекомендуется пользоваться одним и тем же стереоскопом и не забывать каждый раз оценивать деформацию стереомодели.

Кроме вертикального преувеличения, возникает известная деформация стереомодели из-за смещения точки наблюдения, зависящей от положения стереоскопа над снимками.

за рельефа не должно быть, хотя внутри контура могут быть самые разнообразные местные искажения.

В нашем распоряжении пока нет удовлетворительных способов, позволяющих измерять площади физической поверхности Земли со всеми ее изгибами. Поэтому всякого рода географические расчеты, например площади водосбора и др., производятся, исходя из площади контура, ортогонально изображенного на карте, при этом учитываются лишь искажения, вносимые видом картографической проекции. Однако вполне мыслимы стереофотограмметрические приборы, на которых можно проделявать такие измерения путем автоматического суммирования длин множества параллельных профилей.

Ошибка из-за неточного определения масштаба зависит от способа его определения. В одном случае — от точности определения высоты фотографирования, в другом — от точности определения длины отрезка на снимках или снимках и карте. В целом ошибка измерения площади из-за неточного масштаба определяется отношением

$$\frac{\Delta S}{S} = 2 \frac{\Delta m}{m}.$$

Если высота фотографирования определялась радиовысотомером, ошибка не превышает примерно 2 м, что при высоте съемки 1000 м дает ошибку измерения площади 0,2%, практически неощутимую. Если же высота фотографирования определена по высотомеру с ошибкой, достигающей 50 м, то погрешности в определении площадей могут оказаться очень большими, до 10%. То же самое получается, если высота съемки берется относительно средней плоскости данной местности.

На практике масштаб снимков сообщается нередко без указания величины фокусного расстояния АФА и высоты фотографирования. В этом случае более точным оказывается способ определения масштаба снимков по отношению длин отрезков, полученных на снимках и на карте или же вычисленных по геодезическим данным — координатам пары точек, распознанных на снимке. Этот способ хорош тем, что дает фактический масштаб реальных снимков с учетом деформации негативов и позитивов в процессе фотообработки. Опытным путем установлено, что из-за деформации фотоматериалов площади выделенных контуров искажаются на 1–2,5%.

Ошибка в распознавании и обозначении линии контура оценивается примерно в 0,15 мм. Этот вывод сделан относительно легко различимых контуров, ошибка обозначения которых не зависит от точности распознавания и почти целиком равна ошибке вычерчивания. Но при-

ходится иметь дело также с контурами, трудно распознаваемыми на снимках. Тогда ошибки распознавания увеличиваются и, например, при выделения почвенных контуров достигают 0,2–0,6 мм.

Ошибка собственно измерения площади на снимках зависит от выбранного способа измерения. Определение площади криволинейных фигур обычно производится планиметром или палеткой. Технические ошибки, вносимые методом и инструментом для измерений, меньше тех ошибок, которые возникают из-за искажений изображений на снимках. Поэтому во многих случаях измерение площадей на снимках можно проделявать упрощенными способами: при одном-двух обводах планиметром или палеткой. Когда же собственные искажения снимков невелики, появляется возможность добиться более высокой точности результатов, дублируя измерения несколькими обводами планиметром.

8.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВ НАКЛОНА МЕСТНОСТИ

Известны три способа определения углов наклона местности на снимках: *глазомерно-стереоскопический, стереофотограмметрический и инструментальный*.

Глазомерное определение крутизны склонов требует достаточно опыта и натренированности наблюдателя, а также учета видимой деформации стереомодели. Тренировка дешифровщика может производиться на снимках по склонам с известной крутизной или на специальных стереомакетах, на которых изображены пирамиды с заданными углами наклона их граней. Опыт позволяет утверждать, что в результате таких тренировок углы наклона могут быть определены с ошибкой, не превышающей 2–4°, что в ряде случаев вполне допустимо.

На точность определения углов наклона влияет известное преувеличение вертикального масштаба стереомодели. Расчеты показывают, что при углах наклона, не превышающих 15°, искажением из-за деформации стереомодели можно пренебречь, так как оно не будет превышать ошибок определения. Для того, чтобы результаты измерений были более надежными, рекомендуется пользоваться одним и тем же стереоскопом и не забывать каждый раз оценивать деформацию стереомодели.

Кроме вертикального преувеличения, возникает известная деформация стереомодели из-за смещения точки наблюдения, зависящей от положения стереоскопа над снимками.

Суммарное влияние деформации видимой стереомодели может быть учтено, и истинный угол наклона местности вычислен по формуле

$$\operatorname{ctg} i = \mu \operatorname{ctg} i' + a, \quad (8.3)$$

где i — истинный угол наклона; i' — видимый угол наклона; μ — коэффициент вертикального преувеличения стереомодели; a — поправка, обусловленная положением измеряемого склона, которая вычисляется по формуле

$$a = \frac{d}{f} \cos \alpha,$$

где d — радиус-вектор, определяемый как расстояние от центра модели до вершины измеряемого склона; α — угол, образованный радиусом-вектором, проведенным из центра модели на вершину объекта, и вектором падения склона (измеряется непосредственно на снимках); f — фокусное расстояние объектива АФА.

При глазомерно-стереоскопическом определении углов наклона местности работы выполняются в таком порядке:

1) крутизна склона оценивается на глаз, относительно горизонтальной плоскости, за которую принимается плоскость стола, на котором размещены снимки;

2) определяется на снимках величины d и α . Если $d = 0$ или $\alpha = 90^\circ$ или 270° , поправочный член a формулы (8.3) не учитывается.

В остальных случаях по табл. 8.7 находится поправка и вводится в наблюдаемый угол.

Таблица 8.7. Поправки в видимые углы наклона местности в зависимости от их расстояния до центра модели и направления падения склона, град.

(В знаменателе — направление падения склона от центра; в числителе — к центру)

Видимый угол наклона, i°	Расстояние до центра модели, мм				
	20	40	60	80	100
20°	-0,5	-1,0	-1,5	-2,5	-2,5
	+0,5	+1,0	+2,0	+2,5	+3,0
30°	-1,0	-2,0	-3,0	-4,0	-5,0
	+1,0	+2,5	+4,0	+6,5	+8,0
40°	-2,0	-3,5	-5,0	-6,5	-8,0
	+2,0	+4,0	+6,5	+9,0	+11,5
50°	-2,5	-5,0	-7,0	-9,0	-11,0
	+3,0	+6,0	+9,0	+12,0	+16,5

По величине f и исправленному наблюдаемому углу определяется истинный угол наклона местности. Он может быть вычислен или получен из готовой номограммы (рис. 8.1).



Рис. 8.1. Номограмма для определения истинных углов наклона местности по видимым углам

Средняя квадратическая ошибка определения угла наклона местности глазомерно-стереоскопическим способом равна $\pm 2-4^\circ$.

Стереофотограмметрическое определение крутизны склонов возможно, если измерена разность параллаксов изображения точек вершины и основания склона Δp , измерена величина проекции склона на горизонтальную плоскость d_h и базис съемки в масштабе снимка b , а также известно фокусное расстояние объектива АФА — f . Тогда угол наклона может быть вычислен по формуле

$$\operatorname{tg} i = \frac{f \Delta p}{b d_h}.$$

Разность параллаксов может быть измерена простыми фотограмметрическими приборами, например, параллактическими линейками или пластинами. Базис измеряется на аэроснимках, а величина заложения определяется по формуле

$$d_h = \sqrt{d'^2 - 2d'\delta_r \cos \beta + \delta_r^2}.$$

Величины d , d' , δ_r и β измеряются на снимках, как это показано на рис. 8.2.

Угол наклона местности может быть получен по номограмме, предложенной В. И. Павловым и В. Б. Комаровым (рис. 8.3). Средняя квадратическая ошибка определения крутизны склона стереофотограмметрическим способом составляет $\pm 2-3^\circ$.

Инструментальные способы определения крутизны склонов основаны на прямых измерениях углов наклона на специально сконструированных стереоизмерительных приборах, например геологическом стереометре, с помощью особого прибора — стереоуклономера или измерительных палеток. Во всех случаях измерительная часть прибора сочетается со стереоскопом. Средняя квадратическая ошибка определения углов наклона такими инструментами составляет $\pm 2,5-4^\circ$. Все

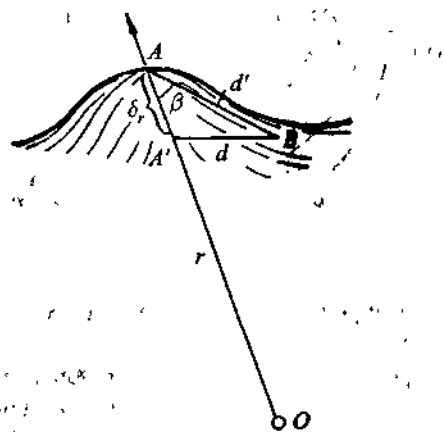


Рис. 8.2. Схема определения на снимках величин d , d' , δ_r , и β

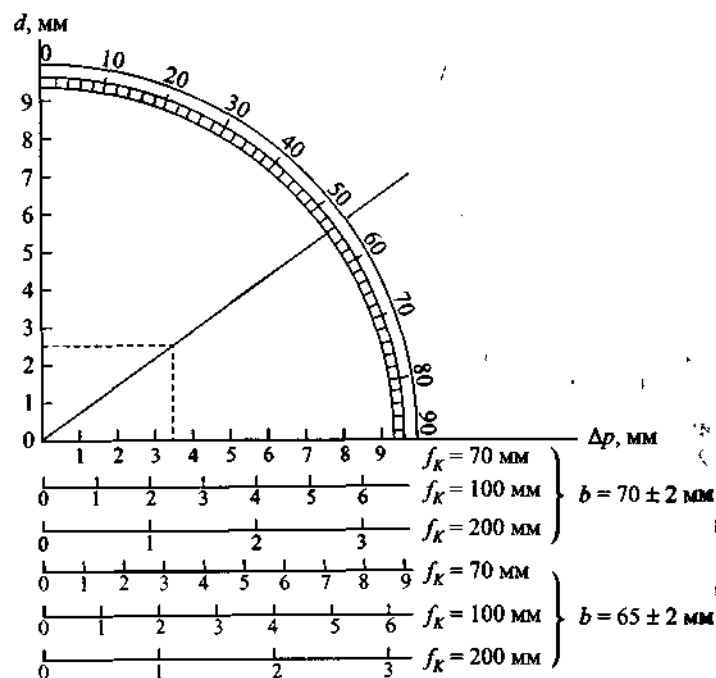


Рис. 8.3. Номограмма для определения крутизны склона

упомянутые способы измерений крутизны дают примерно одинаковый по точности результат.

8.4. ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОТ ОБЪЕКТОВ ПО РАЗНОСТЯМ ПАРАЛЛАКСОВ

Известны несколько способов измерения высот отдельных объектов на снимках: по разностям продольных параллакс, по параллактическим смещениям изображений, по длинам теней, глазомерно-стереоскопический способ измерения высот объектов. Эти способы используют геометрические особенности изображений на кадровых снимках, полученных путем центрального проектирования местности на плоскость снимка. При работе со снимками, имеющими иную геометрию, способы измерений должны быть другими. Но некоторые известные принципы, разработанные для кадровых снимков, могут быть использованы, как связь высоты объекта с длиной отбрасываемой тени.

Измерение высот объектов по разностям параллакс основано на использовании зависимости между величиной смещения точек изображения на стереоскопической паре снимков и превышением между этими точками.

Понятие о продольных параллаксах получим из чертежа, представленного на рис. 8.4, где S_1 и S_2 — центры проектирования (объективы АФА), отстоящие друг от друга на расстоянии съемочного базиса B . На расстоянии f (фокусном расстоянии объектива АФА) от центра проектирования расположены снимки P_1 и P_2 , перекрывающие друг друга несколько более, чем на 50%. Условимся рассматривать идеальный случай съемки, когда снимки и базис съемки не имеют наклонов.

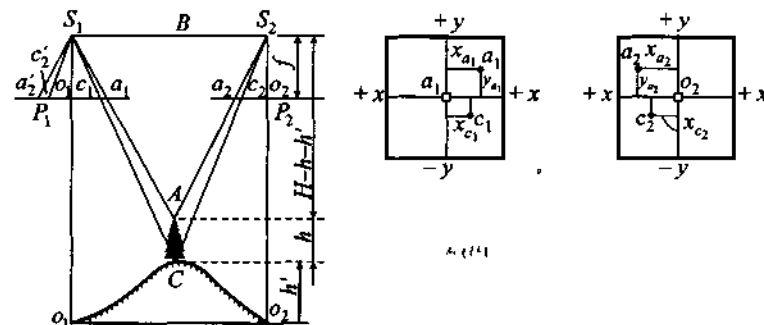


Рис. 8.4. К определению превышений по разностям продольных параллакс.

Пусть точки A и C местности имеют превышение одна относительно другой, равное h . Они изобразятся на снимках в точках a_1 и c_1 , a_2 и c_2 . Положение каждой точки на снимках определяется в координ-

натах, осями которых приняты координатные линии снимков, как это показано на рис. 8.4.

При идеальном случае съемки ординаты каждой пары точек на снимках будут равными, но различными будут абсциссы точек. *Продольным параллаксом* называется разность абсцисс двух изображений одной и той же точки на разных снимках. В нашем случае для точки A параллакс равен $p_a = o_1a_1 - o_2a_2 = x_{a_1} - x_{a_2}$ и для точки C — $p_c = x_{c_1} - x_{c_2}$.

Точки A и C находятся на различной высоте, поэтому абсциссы их не будут равны между собой. Возникает так называемая *разность параллаксов* Δp . Разность продольных параллаксов двух точек зависит от величины превышения между этими точками. Поэтому задача определения превышения сводится к измерению на снимках продольных параллаксов и нахождению их разностей.

Выведем формулу, выражающую зависимость превышения от разности параллаксов.

Проведем из точки S_1 отрезок $S_1a'_2$, параллельный S_2a_2 , и отрезок $S_1c'_2$, параллельный S_2c_2 . Тогда можем написать:

$$a'_2a_1 = p_A = (x_{a_1} - x_{a_2}),$$

$$c'_2c_1 = p_C = (x_{c_1} - x_{c_2}),$$

где p_A и p_C — параллаксы точек A и C . Из подобия треугольников S_1S_2A и $S_1a'_2a_1$ следует:

$$\frac{B}{H - h' - h} = \frac{x_{a_1} - x_{a_2}}{f} = \frac{p_A}{f},$$

откуда

$$p_A = \frac{Bf}{H - h' - h}.$$

Здесь h' — высота основания объекта. Из подобия треугольников S_1S_2C и $S_1c'_2c_1$ следует:

$$\frac{B}{H - h'} = \frac{x_{c_1} - x_{c_2}}{f} = \frac{p_C}{f},$$

откуда

$$p_C = \frac{Bf}{H - h'}.$$

Найдем разность параллаксов Δp :

$$\Delta p = p_a - p_c = \frac{Bf}{H - h' - h} - \frac{Bf}{H - h'} = \frac{Bfh}{(H - h')(H - h' - h)}.$$

Заменим базис в натуре B через базис в масштабе съемки b , значение которого получим из чертежа

$$b = B \frac{f}{H}.$$

Получим

$$\Delta p = \frac{Hbh}{(H - h')(H - h' - h)}. \quad (8.4)$$

Решив равенство (8.4) относительно h , получим формулу, связывающую превышения точек с разностями параллаксов их изображений на снимках

$$h = \frac{(H - h')^2}{Hb + (H - h')\Delta p} \Delta p \quad (8.5)$$

Если измеряются относительно невысокие объекты, например высоты деревьев по аэрофотоснимкам, то разности параллаксов Δp имеют относительно небольшие значения и членом $(H - h')\Delta p$ в знаменателе можно пренебречь. Получим приближенную формулу

$$h \approx \hat{h} = \frac{(H - h')^2}{Hb} \Delta p. \quad (8.6)$$

В формулах величина h' может быть определена по карте или на стереоизмерительных приборах. В аэрофототопографической практике все измерения превышений ведутся от единой начальной плоскости, относительно которой измеряется высота фотографирования H . Поэтому h' всегда равно 0, и формула (8.5) имеет вид

$$h \approx \frac{H}{b + \Delta p} \Delta p. \quad (8.7)$$

Для того чтобы выяснить, при каких значениях $(H - h')$ и h ошибка вычисления высоты объекта по формуле (8.6) не превысит некоторого допуска $\Delta h = h - \hat{h}$, разложим формулу (8.5) в ряд. Тогда в первом приближении ошибка определения высоты объекта

$$\Delta h = -\frac{(H - h')^3}{(Hb)^2} (\Delta p)^2.$$

Подставив значение Δp из формулы (8.6), получим

$$\Delta h = -\frac{\tilde{h}^2}{H - h'},$$

откуда

$$H - h' = -\frac{\tilde{h}^2}{\Delta h} \approx -\frac{h^2}{\Delta h}. \quad (8.8)$$

Рассмотрим случай применения формул (8.7) и (8.8) для измерения, например, высот деревьев. Приняв $\Delta h = \pm 0,5$ м, при различных значениях высоты деревьев, подсчитаем для каждого случая наименьшую высоту фотографирования $(H - h')$, допускающую использование упрощенной формулы. Для высот объектов равных 10, 20 и 25 м, получим значение $(H - h')$ соответственно 200, 800 и 1250 м.

Интересно также знать требуемую точность определения высоты съемки $\Delta h'$, или, что то же самое, предельную величину h' , которую необходимо учитывать при измерениях, если задана ошибка вычисления высоты объекта \tilde{h} . Для этого дифференцируем формулу (8.6) по переменной h' . Получим

$$\Delta \tilde{h} = h|_{h'+\Delta h'} - h|_{h'} = -2\frac{(H - h')}{Hb}\Delta h'\Delta p + O((\Delta h')^2).$$

Подставив значение Δp из формулы (8.6), окончательно находим

$$\Delta h' \approx -\frac{H - h'}{2\tilde{h}}\Delta \tilde{h}. \quad (8.9)$$

Из формулы (8.9) видно, что допустимая ошибка определения разности высот между начальной плоскостью и основанием объекта при заданной точности определения высоты объекта тем меньше, чем больше высота фотографирования или чем меньше высота измеряемого объекта. По этой формуле были рассчитаны допустимые ошибки определения высоты съемки, в предположении, что точность определения высот объектов должна быть равной $\pm 0,5$ м (табл. 8.8).

Величины, приведенные в табл. 8.8, характеризуют также и максимальную разность высот в пределах стереопары, которую можно не учитывать при измерениях и производить вычисления по упрощенной формуле

$$h = \frac{H}{b}\Delta p. \quad (8.10)$$

Таблица 8.8 Допустимые ошибки определения высоты съемки, м

$H - h'$	h	
	10	20
1000	± 25	± 12
2000	± 50	± 25
3000	± 75	± 38

Если предположить, что плоскость съемки проходит по средним высотам рельефа, то приходим к выводу, что при соотношении $\frac{h}{H} < \frac{1}{20}$ положение объекта в рельефе можно не учитывать.

До сих пор рассматривался идеальный случай съемки, при котором снимки и базис съемки горизонтальны. В действительности снимки получают некоторый общий и взаимный наклон, меняется также высота фотографирования от снимка к снимку. Малые углы наклона не мешают видеть изображение стереоскопически, но стереомодель получается искаженной, измеренные по ней координаты точек и разности параллаксов имеют ошибки. Существуют различные способы и приемы, позволяющие учесть ошибки или избежать их. Эти способы детально разбираются в курсе фотограмметрии и стереофотограмметрии. Укажем только, что существуют два метода измерений высот с учетом несовершенства стереомодели.

Первый способ состоит в том, что сначала измеряют координаты пунктов на высокоточных стереоизмерительных приборах (стереокомпараторах) и вычисляют неисправленные параллаксы и их разности. Затем рассчитывают и вводят поправки в измеренные разности параллаксов. Поправки вычисляются по разностям так называемых поперечных параллаксов, которые возникают из-за того, что на наклонных снимках ординаты точек не будут равными на разных снимках, т. е. $y_{a1} \neq y_{a2}$, $y_{c1} \neq y_{c2}$ и т. д.

Другой способ — введение поправок во взаимное положение снимков, заложенных в стереоизмерительный прибор. Эти поправки могут быть определены как элементы внешнего ориентирования снимков (камеры) в полете: углы наклона и разворота снимков, разности высот фотографирования. Внешнее ориентирование снимков можно также проделать на основе ряда точек (не менее четырех на стереопару снимков), имеющих высотные отметки. Этот способ требует полевых геодезических работ. Однако в некоторых случаях можно измерять высоты по снимкам, не учитывая искажений, если соблюдать определенные правила.

Измерение превышений между пунктами, расположенными достаточно близко друг к другу, не вносит заметной ошибки, даже если оно производится по обычным снимкам, ориентированным под стереоскопом только по базисам (начальным направлениям). На рис. 8.5 показаны ошибки определения превышений между пунктами в зависимости от расстояния между ними и высотами съемки. Зависимость выведена для высот объектов, не превышающих $\frac{1}{20}H$ для плановых снимков, при условии их тщательного ориентирования по начальным направлениям.

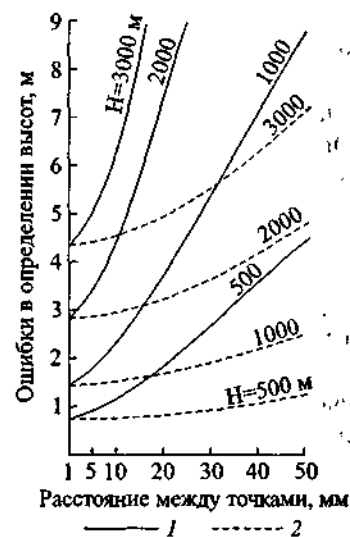


Рис. 8.5. Ошибки определения превышений между пунктами в зависимости от расстояния между ними.

С введением в практику съемки гироскопических устройств появилась возможность упростить измерения. Как следует из того же графика, ошибка определения высот на таких снимках перестают стремительно расти с увеличением расстояния между точками, особенно на аэроснимках крупных масштабов.

Если мы располагаем в пределах стереопары двумя или несколькими точками, отмеченными на снимках, и их высотами, полученными геодезическим путем или по карте, то можно получить высоты ряда точек между двумя известными или высоты многих точек, если известны высоты не менее четырех точек по углам стереопары. Способ измерений, который используется для этого, называется *методом прямой линии*.

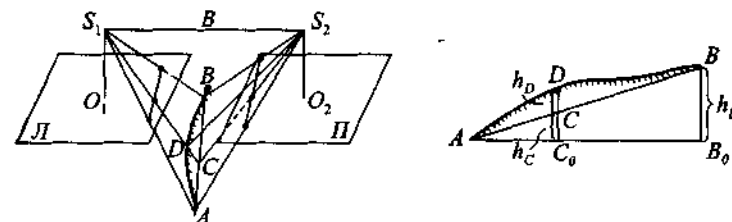


Рис. 8.6. Измерение высот методом прямой линии.

Высота любой точки местности, например, вдоль прямой, соединяющей две опорные точки, получается, как сумма двух превышений (рис. 8.6):

$$h = h_c + h_o,$$

где

$$h_c = \frac{H}{b + \Delta p} \Delta p,$$

$$h_o = h_b \frac{AD}{AB} = h_b \frac{AD_0}{AB_0}.$$

Отрезки AB и AD измеряются на снимках, h_b — разность высот между исходящими точками A и B .

При фотографировании с больших высот, например космической съемке, параллактический сдвиг изображения из-за рельефа становится чрезвычайно мал, чтобы производить измерения высот объектов, например гор, стереофотограмметрическими методами. Однако стереоскопичность изображения можно усилить, если прибегнуть к конвергентной съемке, которая производится двумя камерами, оптические оси которых отклонены от вертикали и наклонены друг к другу на заданный угол. Подбирая угол наклона камеры и фокусное расстояние объективов, можно получать даже космические снимки, пригодные для измерения высот и превышений. Но сами измерения и вычисления будут более сходными, чем описанные выше.

8.5. СТЕРЕОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

В стереоизмерительных приборах стереоскопы сочетаются с измерительными устройствами. Измерительной частью являются отсчетные шкалы и устройства, а также марки различных типов в виде нитей, штрихов или точек. Рассматривая в стереоскоп снимки совместно

разность параллакс двух точек равна разности отсчетов двух наведений вити на эти точки, деленной на десять.

Эта конструктивная особенность позволяет, во-первых, плавно и точно наводить марку на точку и, во-вторых, получать разность параллакс с малой погрешностью, до $\pm 0,05$ мм.

Из других простых приборов укажем на параллаксомер и стереоскоп СПД. Параллаксомер представляет собой металлический стержень, на котором закреплены прозрачные пластинки с нанесенными на них марками. Параллаксомер помещается под стереоскоп над ориентированными снимками. Взаимное перемещение марок и, следовательно, вертикальное перемещение пространственной марки под стереоскопом осуществляется с помощью микрометричного винта, снабженного устройством для отсчетов положения. Параллаксомер обеспечивает точность измерения продольных параллакс до 0,03–0,02 мм. Стереоскоп СПД установлен на стойке, снабженной накладными плексигласовыми пластинками с марками в виде линий. Перемещение пространственной марки достигается движением левой пластинки.

Предлагались также другие простые стереоизмерительные приборы и устройства: фотовысотомеры, стереовысотомеры, измерительные и дешифровочные стереоскопы, воплощающие в своих конструкциях те же идеи сочетания стереоскопа с простейшими измерительными приспособлениями, включающими марку (чаще всего на прозрачном носителе) и микрометричное отсчетное приспособление. Некоторые приборы, как, например, фотовысотомер, по измеренным разностям продольных параллакс автоматически выдают высоты точек, если на снимках есть опорные пункты с известными высотами. Стереовысотомер СВ-5 позволяет сразу определять разности высот.

Прибором для высокоточного измерения координат точек на снимках, продольных и поперечных параллакс, но без учета и введения каких-либо поправок из-за искажения стереомодели, является *стереокомпаратор*. Он состоит из массивной металлической станины, на которой размещены каретки для снимков или диапозитивов. Каретки могут совместно или порознь перемещаться вдоль осей x и y и поворачиваться вокруг центра каретки (снимка). Эти перемещения фиксируются на шкалах измерительных устройств и служат для взаимного ориентирования снимков перед измерениями, а также для определения продольных и поперечных параллакс. Бинокулярная система стереокомпаратора обладает большим увеличением, обеспечивающим высокую точность результатов измерений.

Современные высокоточные стереокомпараторы имеют более

сложную конструкцию. Некоторые из них включают устройства для фиксации точек наблюдения с применением лазера. Они снабжены современной оптической системой наблюдения и работают в комплексе с компьютерами, используемыми для вычисления координат и параллакс точек с введением поправок на влияние кривизны Земли, деформации снимков и т. д.

Для измерения высот по плановым снимкам используются топографические стереометры СТД-1 и СТД-2 конструкции Ф. В. Дробышева (рис. 8.9).

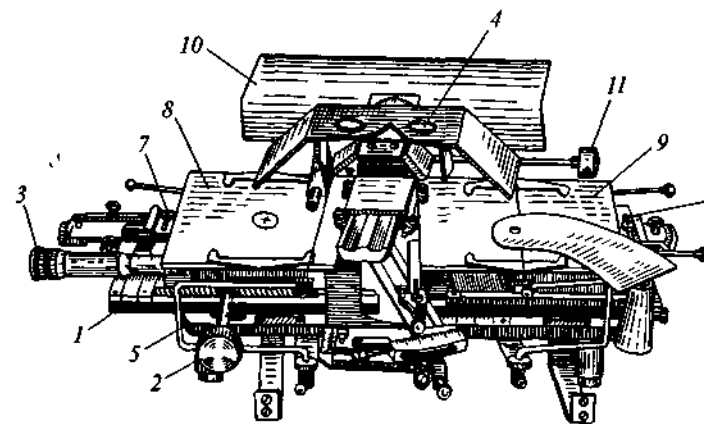


Рис. 8.9 Стереометр СТД-2

1 — станина, 2 — кремальерный винт x , 3 — параллактический винт со шкалой, 4 — зеркально-линзовый стереоскоп, 5 — нитедержатель с нитями, натянутыми над снимками, 6, 7 — коррекционные приспособления для поворота вити, 8, 9 — кассеты со снимками, 10 — осветитель, 11 — кремальерный винт y

Стереометр СТД состоит из станины, основной каретки, конвергентного и коррекционного устройств и зеркального стереоскопа. Основная каретка, несущая снимки, перемещается под стереоскопом кремальерным винтом в направлении x . В направлении y другой кремальерный винт перемещает над снимками стереоскоп. Марками служат вити, натянутые на поворотных держателях над снимками.

Параллаксы (продольные) измеряются параллактическим винтом с точностью до 0,02 мм. Параллактический винт, с помощью которого перемещается один снимок относительно другого, помещен слева. В отличие от простых измерительных устройств и стереокомпаратора на СТД можно измерять параллаксы, освобожденные от ошибок из-

за наклона снимков и базиса съемки. Для этого стереометр снабжен коррекционными приспособлениями, с помощью которых вводятся поправки в измеряемые параллаксы.

Величины поправок могут быть непосредственно установлены на четырех коррекционных устройствах, если известны элементы внешнего ориентирования: углы наклона снимков и разность высот фотографирования. Но они могут быть также опосредованно найдены в процессе ориентирования снимков по опорным точкам, высоты которых определены в поле геодезическими методами. Для ориентирования стереопары снимков требуется иметь не менее четырех высотных точек, но для контроля используют обычно шесть.

На опорных точках измеряются разности параллаксков и сравниваются с вычисленными по известным высотам. Расхождения аннулируются с помощью коррекционных устройств. Эта работа выполняется в определенной очередности способом последовательных приближений.

После ориентирования снимков измерения параллаксков и их разностей выполняются аналогично тому, как это было изложено выше. Передвижением по x левого снимка относительно неподвижной нити достигается эффект перемещения под стереоскопом пространственной нити по высоте. Касаясь нитью точек, между которыми измеряется превышение, наблюдатель берет отсчет на винте параллаксков с точностью до 0,01 мм. Разность отсчетов при двух наведениях на разные точки соответствует разности параллаксков. При коррекционных устройствах, установленных на нули, стереометр может быть также использован для измерений, аналогично параллаксмеру.

Для определения всех трех координат точек местности и (вместе с тем) для создания карты служат универсальные стереофотограмметрические приборы: мультиплекс и ему подобные стереопроектор СПР-2 Г. В. Романовского и стереограф СД Ф. В. Дробышева и другие более современные.

Мультиплекс и ему подобные приборы относятся к приборам оптического проектирования. Они состоят из пары, трех и более проекторов, установленных на горизонтальной штанге, укрепленной на стене. В каждый из проекторов, имеющих базисные каретки для введения наклона снимка и изменения высоты проектирования, закладывается уменьшенный диапозитив очередного снимка маршрута. Снимки проецируются на экран через синие и красные светофильтры, установленные в проекторах поочередно. Стереомодель на экране рассматривается через красно-синие очки. С помощью специального приспособ-

ления — столিকা со светящейся подвижной по высоте маркой — каждая точка стереомодели может быть определена в координатах и спроектирована ортогонально на планшет, помещаемый на экран. Предварительно снимки взаимно ориентируются, а вся модель приводится к заданному масштабу и ориентируется по геодезическим точкам.

Стереопроекторы СПР и стереографы СД предназначены для определения пространственных координат точек местности и создания карт. От мультиплекса они отличаются иным принципом построения модели местности и введения поправок в положение опорных точек, а также большей точностью измерений.

8.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ ОБЪЕКТОВ ПО ПАРАЛЛАКТИЧЕСКИМ СМЕЩЕНИЯМ

Определение высоты объекта по смещению его вершины относительно основания требует знания величины самого смещения δ_h , расстояния от вершины объекта до центра снимка (точки надира) r и высоты съемки H . Вычисления производятся по формуле

$$h = \delta_h \frac{H}{r}. \quad (8.11)$$

Величины r и δ_h измеряются непосредственно на снимках. Рассмотрим, с какой точностью должны определяться все три величины, входящие в правую часть формулы.

Ошибки определения высоты съемки относительно невелики и не оказывают существенного влияния на точность определения высот. Действительно, для того, чтобы относительная ошибка определения высоты объекта была равна 5%, а это хороший результат для такого способа, высоту съемки, если она равна 1000 м, нужно знать с ошибкой ± 50 м.

Ошибка измерения величины тем больше сказывается на окончательном итоге, чем эта величина меньше. Настоящий способ определения высот приемлем только при работе на краях снимков. Поэтому практически всегда имеют дело с большими величинами r .

Ошибка измерения самого смещения влияет на ошибку определения высоты объекта в большей степени. Чтобы выявить это, дифференцируем формулу (8.11) по переменной h и, переходя к ошибкам, получим

$$\Delta h = \frac{H}{r} \Delta(\delta_h). \quad (8.12)$$

Из формулы видно, что ошибка измерения высоты объекта увеличивается с увеличением высоты съемки и уменьшается с увеличением расстояния от центра снимка до вершины объекта. На рис. 8.10 показаны кривые связи этих величин, рассчитанные при постоянном значении $\Delta(\delta_h)$, равном 0,1 мм.

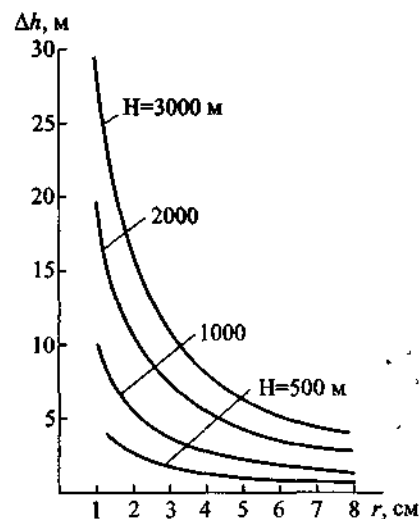


Рис 8.10 Связь ошибок определения высоты объекта по параллактическому смещению (Δh) с расстоянием от центра снимка (r) и высотой фотографирования (H)

Исследуем влияние величины смещения на точность определения высоты объекта. Для этого решим формулу (8.12) относительно $\frac{H}{r}$ и подставим в формулу (8.11). После ряда преобразований получим

$$\Delta h = h \frac{\Delta(\delta_h)}{\delta_h}$$

Откуда следует, что относительная ошибка определения высоты объекта равна относительной ошибке измерения сдвига изображения на снимке. Получается, что абсолютная ошибка определения высоты тем меньше, чем больше сдвиг.

Если объект расположен близко к центру снимка, то может случиться, что величина сдвига станет равной ошибке измерения и относительная ошибка станет равной 100%, т.е. ошибка определения высоты связана с абсолютной величиной смещения. Посчитаем ожидаемые относительные ошибки определения высоты $\frac{\Delta h}{h}$ для различных значений δ_h при условии, что $\Delta(\delta_h) = \pm 0,1$ мм. При смещениях, равных

1, 2, 3, 5 и 8 мм, относительная ошибка определения высоты должна быть равной соответственно 10, 5, 3, 2 и 1,2%.

В действительности ошибка измерений на снимках больше, чем принятая нами величина 0,1 мм. Основной причиной является недостаточно точное определение вершины и, главное, — основания объекта. Опытным путем установлено, что средние квадратические ошибки измерений параллактических смещений на снимках равны $\pm 0,20$ – $0,25$ мм.

Абсолютная величина сдвига изображения и, следовательно, точность определения высот зависит от масштаба снимка. Ошибки измерения величины смещения и ошибки определения высоты объекта связаны с масштабом снимка такой зависимостью:

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{r} \frac{\Delta(\delta_h)}{\Delta h_0}$$

Рассчитаем предельные масштабы снимков, приняв, что ошибка измерения смещения на снимке равна 0,1 мм, требуемая ошибка измерения высоты объекта равна 0,5 м, а также что для измерений будем выбирать краевые части снимков и поэтому r будет составлять не менее 8 см. Получим следующие результаты при $f = 70$ мм масштаб снимков должен быть не мельче 1:6000, при $f = 100$ мм — не мельче 1:4000, а при $f = 200$ мм — не мельче 1:2000.

8.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ ОБЪЕКТОВ ПО ДЛИНАМ ТЕНЕЙ

Вычисление высот объектов производится по формуле

$$h = \frac{lm}{n} = \frac{L}{n}, \quad (8.13)$$

где l — длина тени на снимке; L — длина тени в натуре; m — знаменатель масштаба снимка, n — относительная длина тени, которая получается как отношение высоты объекта к длине; зависит от географической широты места, даты и времени съемки и численно равна котангенсу угла падения солнечных лучей на горизонтальную поверхность. Величина выбирается из готовых таблиц или графиков, составленных В. И. Дружи.

Длины теней должны измеряться особенно тщательно, так как приходится чаще всего иметь дело с мелкими объектами и короткими тенями. При измерении длины тени нужно учитывать, что она измеряется в направлении падения тени и что сам объект имеет перспективное

смещение. В некоторых случаях возникают затруднения с определением основания тени. Его можно определить, если провести две линии — одну из центра снимка к вершине объекта, другую из вершины тени в направлении падения тени. В пересечении этих направлений получим точку основания тени.

Для снимков гористой местности, имеющих переменный масштаб, формулу (8.13) следует написать в виде

$$h = \frac{lH'}{nf},$$

где H' — высота съемки относительно основания объекта.

Относительная ошибка измерения высоты съемки связана с относительной ошибкой измерения тени зависимостью

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta l}{l}.$$

Абсолютная погрешность определения длины тени Δl — величина довольно постоянная, равная примерно 0,1 мм. Поэтому при увеличении длины тени относительная ошибка ее измерения становится меньше. Но при этом уменьшается допустимая разность высот рельефа, которую можно еще не учитывать. Примем постоянной высоту съемки $H=2000$ м и ошибку определения длины тени $\pm 0,1$ мм. Тогда при длине тени, равной 2 мм, можно допустить колебания высот в пределах ± 100 м, а при длине тени 4 мм — ± 50 м. Если пренебречь этими расчетами, то получим во втором случае в два раза большую относительную ошибку измерения длины тени.

Чтобы получить представление о влиянии ошибок измерения длин теней на точность определения высот объектов, дифференцируем формулу (8.13) по переменной L и, перейдя к ошибкам, получим

$$\Delta h = \frac{1}{n} \Delta L.$$

Величина h зависит от угла падения солнечных лучей α и, следовательно, связана с длиной тени. Если при угле $\alpha = 45^\circ$ $\Delta h = \Delta L$, то при $\alpha = 63^\circ$ ошибка определения высоты объекта почти вдвое больше ошибки измерения длины тени.

Все приведенные выше рассуждения верны применительно к случаю падения тени на горизонтальную поверхность. В действительности тень может падать на наклонную поверхность. В этом случае, как

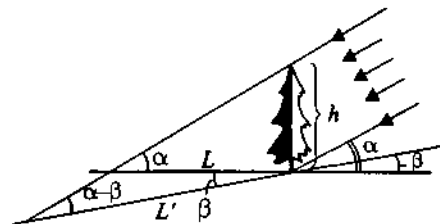


Рис. 8.11 К определению высоты объекта по длине тени

показано на рис. 8.11, высота объекта связана с длиной тени следующей зависимостью:

$$h = l' \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\cos \alpha}, \quad (8.14)$$

где α — угол падения солнечных лучей на горизонтальную поверхность; β — угол наклона местности в направлении падения тени; l' — длина тени на наклонной поверхности.

Углы наклона местности могут быть определены различными способами (см. параграф 8.9), но практически с вполне удовлетворительной точностью их можно определять глазомерно-стереоскопически. При прочих равных условиях, чем выше Солнце, тем меньше требуемая точность определения углов наклона местности. При низком стоянии Солнца становится необходимым учитывать очень малые углы наклона местности, свойственные не только гористой, но и всякой пересеченной местности. Задача определения длины тени, падающей на наклонную поверхность, усложняется также тем, что ориентировка склона влияет на длину тени на снимке.

Строгий учет всех факторов, влияющих на длину тени, сделал бы вычисления чрезмерно громоздкими. Поэтому интерес представляют те условия, при которых влияние некоторых факторов сказывается в малой степени и ими можно пренебречь.

Наиболее удобно измерять длины падающих теней в центре плановых снимков, сами же снимки предпочтительнее снимать АФА с фокусным расстоянием объектива $f=200$ мм и более. Тогда длина тени в натуре может быть вычислена приближенно по формуле

$$L' = \frac{lm}{\cos \beta}. \quad (8.15)$$

Расчеты показывают, что вычисления по той формуле можно производить без учета угла наклона местности, если он не превышает примерно 18° . Эта величина приблизительная, она становится тем больше,

чем короче тени и чем дальше от центра снимка расположен объект. Здесь она указана, исходя из предположения, что длина тени равна высоте объекта, а расхождение между фактической длиной тени и вычисленной не более одного метра в натуре.

Подставив значения из (8.15) в (8.14), получим полную формулу для вычисления высот объектов по измеренным на снимках длинам теней:

$$h_0 = l m K; \quad K = \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\cos \alpha \cos \beta}.$$

Для удобства вычислений коэффициент K может быть рассчитан заблаговременно для всех возможных значений α и β (табл. 8.9).

Таблица 8.9. Значение коэффициента K при различных углах падения солнечных лучей α и углах наклона местности β

$\alpha^\circ \quad \beta^\circ$	$\frac{+5}{-5}$	$\frac{+15}{-15}$	$\frac{+25}{-25}$	$\frac{+35}{-35}$	$\frac{+45}{-45}$
20°	0,45 0,25	0,63 0,10	0,83 —	1,06 —	1,36 —
30°	0,66 0,49	0,85 0,31	1,04 0,11	1,28 —	1,42 —
40°	0,93 0,75	1,11 0,57	1,31 0,37	1,54 0,14	1,82 —
50°	1,28 1,10	1,46 0,92	1,66 0,73	1,89 0,49	1,19 0,16
60°	1,82 1,65	2,00 1,46	2,20 1,27	0,43 1,03	2,73 0,73
70°	2,84 2,66	3,01 2,49	3,22 2,28	3,45 2,05	3,74 1,47

Так как рельеф местности может быть самым разнообразным, границу некоторой «полезной» площади, в пределах которой влияние склона местности было бы незначительным, можно указать лишь весьма приблизительно. При очень крутых склонах эта площадь настолько мала, что весь способ определения высот объектов теряет практическую ценность, но при углах наклона до 20–30° еще можно использовать этот способ измерения высот объектов, если не сказывается влияние других искажающих факторов.

8.8. ГЛАЗОМЕРНО-СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИЙ СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТ ОБЪЕКТОВ

Глазомерно-стереоскопический способ измерения высот объектов основан на визуальной оценке их высот h_c под стереоскопом с последующим вычислением натуральных высот объектов h по формуле

$$h = h_c m_v \frac{1}{v},$$

где v — увеличение линз стереоскопа; $\frac{1}{m_v}$ — вертикальный масштаб стереомодели.

Способ может давать более или менее надежные результаты после того, как наблюдатель будет натренирован в определении стереоскопических высот объектов. Есть три способа тренировок. Первый, методически самый верный, заключается в том, что по известным в натуре высотам объектов рассчитывают их стереоскопические высоты, по которым контролируют глазомерную оценку высот тех же объектов. Специалисты лесной таксации составили специальные таблицы стереоскопических высот деревьев для различных случаев съемки.

В другом случае тренировка осуществляется путем сравнения высот объектов с миллиметровой линейкой, помещенной под стереоскоп. В этом случае не учитывается увеличение линз стереоскопа, так как шкала линейки и стереомодель будут одинаково увеличены.

Вертикальный масштаб стереомодели определяется по формуле

$$\frac{1}{m_v} = \mu \frac{1}{m_h},$$

где μ — вертикальное преувеличение стереомодели; $\frac{1}{m_h}$ — горизонтальный масштаб снимков.

В районах со значительным рельефом определение высот объектов усложняется, если велики колебания горизонтального масштаба снимков и вертикального масштаба стереомодели.

Формулу для вычисления вертикального масштаба в любом месте стереомодели получим, зная наблюдаемое в стереоскоп (без увеличения) превышение h_c и превышение в натуре h , которые вычисляются по формулам

$$h_c = \frac{\rho_0 \Delta p}{b_h}, \quad (8.16)$$

$$h = \frac{(H - h')^2}{H_b} \Delta p, \quad (8.17)$$

где ρ_0 — расстояние наилучшего зрения, а b_h — глазной базис.

Разделив (8.16) на (8.17), найдем формулу для вычисления вертикального масштаба видимой стереомодели:

$$\frac{1}{m_v} = \frac{\rho_0 H_b}{b_h (H - h')^2}. \quad (8.18)$$

При работе со снимками горных районов формула удобна тем, что для каждой отдельной стереопары величина базиса съемки принимается постоянной величиной, а переменной является высота полета относительно основания объекта ($H - h'$).

Подставив (8.18) в исходную формулу, получим формулу для вычисления действительных высот объектов по их стереоскопической высоте применительно к аэроснимкам рельефной местности

$$h = h_c \frac{(H - h')^2}{4Hb}, \quad (8.19)$$

где $\frac{b_0}{b_h} \approx 4$ — для нормального зрения.

Выясним, как связана ошибка глазомерного определения стереоскопической высоты объекта с его действительной высотой. Для этого дифференцируем формулу (8.19) по переменной h_c и, перейдя к ошибкам, получим:

$$\Delta h = \frac{(H - h')^2}{4Hb} \Delta h_c = m_v \Delta h_c.$$

Приняв ошибку глазомерного определения высоты объекта под стереоскопом Δh_c равной $\pm 0,1$ мм, вычислим вероятные ошибки определения действительной высоты объекта при различных значениях вертикального масштаба стереомодели. Она получилась равной: при вертикальном масштабе 1:5000 — $\pm 0,5$ м, при 1:1500 — $\pm 1,5$ м.

Теоретически ожидаемые ошибки имеют приближенный характер, так как средняя квадратическая ошибка глазомерного определения стереоскопических высот объектов, которую мы приняли равной $\pm 0,1$ мм, в действительности является величиной непостоянной и зависит от ряда причин. Натренированность исполнителя, различный видимый наклон объектов в центре и на краях стереопары, а также качество изображения — все это может существенно повлиять на точность измерений.

Чтобы получить представление о необходимой точности определения разности высот между начальной плоскостью и основанием объекта, дифференцируем формулу (8.19) по переменной h' , перейдем к ошибкам и решим относительно $\Delta h'$:

$$\Delta h' = -\frac{H - h'}{2h} \Delta h.$$

Эта формула тождественна формуле (8.9), следовательно, стереомодель имеет практически постоянный вертикальный масштаб при значениях $(H - h')$, приведенных в табл. 8.8 (при соответствующих значениях Δh и h').

8.9. ИЗМЕРЕНИЕ ГЛУБИН ВОДОЕМОВ

Глубины могут быть измерены непосредственно на снимках двумя способами: стереофотограмметрическим и фотометрическим. Кроме того, существуют косвенные способы оценки глубин в прибрежной зоне водоемов, основанные на закономерной связи между глубинами и длиной и скоростью распространения волн, формами рефракции волн, конфигурацией прибрежных наносов.

Определение глубин стереофотограмметрическим способом основано на использовании параллаксов точек изображения. Строгая формула для вычисления глубин имеет следующий вид:

$$l = \frac{H \Delta p}{F_1 x_1 - F_2 x_2}, \quad (8.20)$$

где l — глубина, Δp — разность параллаксов, H — высота съемки. Величина $F_1 x_1 - F_2 x_2$ зависит от угла зрения объектива АФА и положения точки на снимке, а также показателя преломления луча на границе двух сред — воды и воздуха. Значения коэффициентов F_i могут быть получены из готовых таблиц (см.: Применение аэрометодов для исследования моря. М.; Л., 1963. 546 с.).

Во многих случаях формула (8.20) может быть представлена в упрощенном виде

$$l = j \frac{H \Delta p}{p},$$

где величина $j = \frac{1}{f}$. Для $f=200$ мм можно принять $j = 1,38$ с погрешностью, не превышающей 1-2% глубины.

В случае измерения глубин, как и при измерении высот, нужно различать одиночные и массовые измерения. Последние требуют специального подхода и производятся особыми стереофотограмметрическими способами. Измерение глубин в отдельных точках требует одновременного видения поверхности воды и дна. Это достигается маркированием поверхности воды или путем синхронной съемки, при которой на снимках сохраняется изображение водной поверхности вместе с изображением дна.

Определение глубин фотометрическим способом основано на функциональной зависимости между оптической плотностью изображения водоема и его глубиной, которая выражается основной батиметрической формулой:

$$B = L + Re^{-pl},$$

где e — основание натуральных логарифмов; l — глубина; L , R и p — параметры, зависящие от условий съемки, фотообработки и отражательной способности водного объекта.

Все три параметра неизвестны. Поэтому необходимо знать в натуре не менее трех глубин, чтобы определить все остальные по снимкам. Если же есть изображение уреза воды и участка водоема с такими глубинами, где дно уже не изображается на снимках, можно сократить необходимое число известных глубин до одной и все вычисления производить по формуле

$$l = \frac{1}{p} \ln \frac{B_0 - B_\infty}{B_l - B_\infty},$$

где B_0 — плотность изображения на урезе воды; B_∞ — плотность изображения на большой глубине; B_l — плотность изображения в измеряемой точке; $\frac{1}{p}$ — параметр, для определения которого нужно знать глубину в одной точке.

Возможно также определение глубин при полном отсутствии опорных измерений, полученных в натуре. Для этого съемка производится одновременно в двух зонах спектра, например зеленой и красной. Средняя квадратическая ошибка определения глубин фотометрическим способом при наличии наземного обоснования равна $\pm 0,2-0,4$ м, при съемке в разных зонах спектра $\pm 0,2-0,7$ м.

Глава 9

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ ДЕШИФРИРОВАНИЯ СНИМКОВ

9.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ДЕШИФРИРОВАНИЯ СНИМКОВ

Под технологией дешифрирования понимается совокупность знаний о средствах и приемах извлечения информации из снимков. Выбор путей и способов дешифрирования снимков составляет специальную задачу, едва ли не важнейшую среди тех, которые возникают при использовании материалов аэрокосмических съемок.

Здесь мы будем рассматривать дешифрирование как производственный процесс. Но логико-производственная сторона процесса дешифрирования тесно связана с познавательной стороной, с логической структурой дешифрирования. Логика исследования находит прямое отражение в технологии, а также в организации процесса дешифрирования, хотя технология и организация дешифрирования образуют самостоятельные разделы учения о методе, так как в одних рассматриваются пути познания, в других — способы и приемы использования материалов дистанционных съемок.

Основная задача технологии — разработка рациональных схем дешифрирования воздушных и космических снимков. Они строятся таким образом, чтобы можно было получить максимальное количество доброкачественной информации при минимальных затратах труда и средств. Технологические схемы включают в себя этапы собственно дешифрирования и ряд предварительных, промежуточных и заключительных операций и действий, включая обучение и подготовку дешифровщика. Любая технологическая схема дешифрирования начинается с постановки общей задачи исследования, планирования или,

например, картографирования, в соответствии с которой определяется выбор условий съемки и методика работы.

Задача должна ставиться с учетом реальных возможностей конкретных снимков, наличия необходимых инструментов и условий для производства работ, уровня подготовки дешифровщика и др. Ставя задачу, следует ясно представлять себе реальные возможности метода. Здесь, как и всюду, опасны крайности. Чрезмерные претензии к методу, переоценка его возможностей могут привести к тому, что планируемый результат не будет получен. С другой стороны, недоверие к методу тормозит его развитие и наносит ущерб науке и практике. В тех случаях, когда проводится специальная съемка для данного исследования, можно наиболее полно учесть условия поставленной задачи и получить снимки, отвечающие ее требованиям. Однако географам часто приходится довольствоваться готовыми снимками, полученными для целей топографического картографирования.

После того как сформулирована задача, организуется сбор информации об объекте. Собираются и анализируются все доступные литературные и картографические источники. Кроме того, необходим постоянный сбор информации о методических разработках, результаты и рекомендации которых могут найти применение в данном исследовании.

Собственно дешифрирование производится по различным методикам или, чаще, при сочетании различных методик. В технологической схеме они располагаются в виде ряда последовательных этапов, в которых чередуются полевое и камеральное дешифрирование. Такой порядок работы дает возможность накапливать факты, знания, позволяет от этапа к этапу вести дешифрирование все более обоснованно, детально и глубоко, и то же время при этом сохраняются основные преимущества метода: скорость производства работ, экономия в затратах. Конечно, возможно и одноэтапное дешифрирование: сплошное полевое или камеральное. При сплошном полевом дешифрировании мы выигрываем в полноте и достоверности результатов дешифрирования, но проигрываем в затратах времени и средств. Наоборот, при сплошном камеральном дешифрировании проигрываем в надежности дешифрирования, хотя можем быстрее и с большими удобствами выполнить работу.

При последовательном выполнении дешифрирования очередность этапов может быть различной. Если исследователь располагает предварительной информацией о местности и предмете дешифрирования и сами снимки достаточно наглядны, то работа начинается с предвари-

тельного камерального дешифрирования и все этапы строятся в такой последовательности: а) предварительное камеральное дешифрирование; б) полевое дешифрирование вдоль маршрутов или по отдельным участкам; в) камеральное дешифрирование участков, не посещенных в поле; г) выборочный полевой контроль результатов камерального дешифрирования; д) окончательное камеральное дешифрирование и оформление результатов.

При недостатке исходной информации и ненадежности прямого распознавания предварительное камеральное дешифрирование не ускоряет работу. В этом случае удобно начинать с полевого дешифрирования и всю работу строить по такой схеме: а) полевое дешифрирование вдоль маршрутов и на отдельных участках; б) камеральное дешифрирование с использованием результатов полевых работ; в) полевой контроль и дополнительное полевое дешифрирование; г) окончательное камеральное дешифрирование и оформление результатов.

Многоэтапные схемы дешифрирования используются преимущественно при тематическом картографировании. В других случаях, например при топографических съемках, применяются трех- и двухэтапное дешифрирование.

В прошедшие годы предложены и использовались различные технологические и организационные схемы дешифрирования снимков применительно к потребностям и возможностям тех областей науки и практики, в которых аэрокосмические методы оказались полезными. Появилась даже идея о том, что технология возникает из решения конкретных задач, и схемы дешифрирования каждый раз носят случайный характер. Однако развитие и совершенствование технологии дешифрирования настоятельно потребовало унификации самих правил составления технологических схем, чтобы они были сравнимы и вместе с тем приближены к практике. Для этого в основу удобно положить метод сетевого планирования.

При расчете и построении сетевых графиков весь процесс разбивается на последовательный ряд рабочих этапов или группы операций, и на ряд событий, представляющих собой промежуточный или окончательный результат выполняемой работы.

Построенные по единым правилам, сетевые графики позволяют производить сравнение между избранными технологиями и организацией процесса дешифрирования и делать расчеты затрат времени.

При дешифрировании космических снимков и особенно мелкомасштабных глобальных снимков Земли сокращаются временные затраты на непосредственную географическую привязку снимков. Поэтому

возрастает доля камерального дешифрирования и вместе с тем роль географических карт. На космических снимках из-за большого обобщения почти не остается объектов, которые можно было бы узнать, опираясь лишь на непосредственный наземный зрительный опыт. Если же при первом взгляде на космические снимки и обнаруживается знакомый рисунок или контур, то только потому, что он был ранее известен по картам.

Все действия, начиная с географической привязки снимков и кончая оформлением результатов дешифрирования, неизбежно предполагают совместное использование космических снимков и географических карт. Все это заставляет несколько иначе строить схему дешифрирования космических снимков, используя информацию, почерпнутую главным образом из карт, а также из материалов подспутниковой аэросъемки и эталонных полигонов (рис. 9.1, 9.2; табл. 9.1, 9.2).

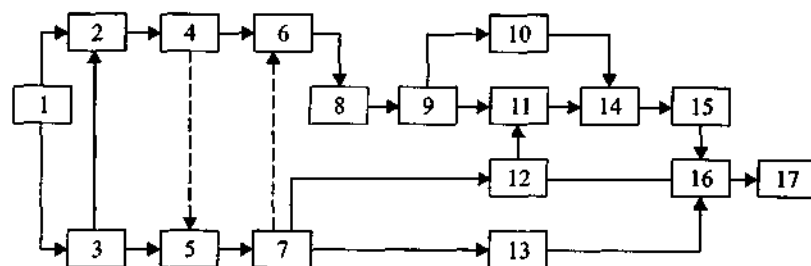


Рис. 9.1 Сетевой график географического дешифрирования аэроснимков

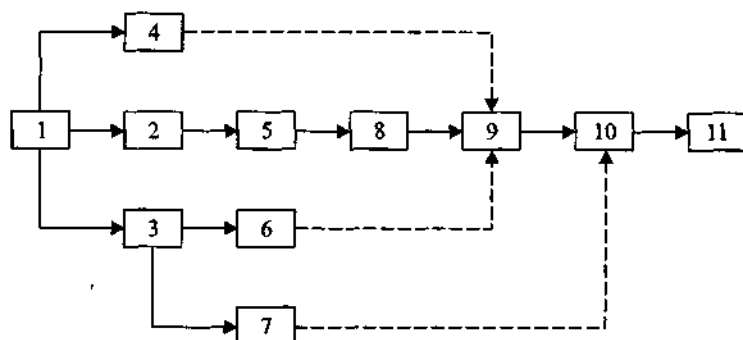


Рис. 9.2 Сетевой график географического дешифрирования космических снимков

Таблица 9.1 Содержание основных работ и событий сетевого графика географического дешифрирования аэроснимков

Код работы	Содержание работы или события
1	Задание на исследование (дешифрирование)
1-2	Оформление документов и заключение договора на съемку
1-3	Сбор картографических и иных материалов, изучение по ним территории. Получение или покупка готовых материалов аэросъемок
3-2	Составление задания на съемку (время съемки, тип пленки и др.)
2-4	Съемочные работы
3-5	Непосредственное визуальное обследование местности с самолета или вертолета
4-6	Изготовление съемочных материалов, печать снимков, составление фотосхем и др.
5-7	Составление предварительных схем, разработка системы условных знаков и способа записи результатов дешифрирования. Определение правил генерализации
6-8	Предварительное камеральное дешифрирование снимков
8-9	Разработка маршрутов полевого дешифрирования, выбор участков для эталонирования
9-11	Полевое дешифрирование снимков по маршрутам и на ключевых участках
9-10	Полевые географические работы: взятие проб и образцов, сбор гербариев и пр.
7-12	Сбор дополнительных материалов на территории. Детальное изучение местных ведомственных материалов
7-13	Сбор информации, не получаемой по снимкам: административные границы, названия и пр.
11-12	Уточнение системы обозначений результатов дешифрирования
11-14	Камеральное дешифрирование снимков с использованием эталонов, результатов полевых географических работ
10-14	Лабораторная обработка полевых материалов
14-15	Окончательное камеральное дешифрирование снимков
12-16	Увязка результатов дешифрирования и сведение их воедино
16-17	Оформление результатов дешифрирования в форме карты, схемы, описания, таблицы или в ином виде

Таблица 9.2. Содержание основных работ и событий сетевого графика географического дешифрирования космических снимков Земли

Код работы	Содержание работы или события
1-2	Съемка
1-3	Сбор картографических материалов
1-4	Сбор литературных материалов и данных гидрометеослужбы
3-6	Составление схемы ландшафтного районирования территории съемки
3-7	Составление картографической основы
2-5	Географическая привязка снимков
5-8	Предварительное географическое дешифрирование снимков
8-9	Прямое специальное (тематическое) дешифрирование снимков с использованием карт, материалов подспутниковых аэросъемок и снимков-эталонов на полигоны-аналоги
9-10	Косвенное дешифрирование
10-11	Перенос результатов дешифрирования на основу

9.2. ВЫБОР И ПОДГОТОВКА МАТЕРИАЛОВ СЪЕМОК

При исследовательских и производственных работах используются следующие материалы воздушной и космической съемки:

1) снимки (отдельные и комплекты снимков), полученные фотографическим или иным способом. Снимки могут быть: многозональными, одно- и разновременными, разномасштабными, с разными углами наклона (плановые, перспективные), черно-белыми панхроматическими и спектральнозональными, цветными в натуральных и условных цветах и др.;

2) монтажи из снимков: репродукции накидных монтажей, фото-схемы, фотопланы и фотокопии с них;

3) материалы спектрометрической и телефотометрической съемок, материалы аэромагнитной, аэrorадиометрической и иных геофизических съемок;

4) вспомогательные, но совершенно необходимые «данные сопровождения»: высота съемки, масштаб снимков, сведения о параметрах съемочной аппаратуры, типах фотографической пленки и др.

Кроме того, для обработки снимков нужны геодезические данные и картографическая основа для нанесения результатов дешифрирования.

Главным материалом служат компактные фотографические отпечатки с негативов. Кроме того, используются увеличенные снимки, а в некоторых случаях и уменьшенные. Позитивы с негативов-фильмов, полученные при съемке щелевой камерой или при радарной и тепловой съемках, печатаются отдельными кадрами.

Отпечатки делаются на тонкой глянцевой фотобумаге, но без наката глянца, особенно если предстоит выполнить чертежные работы. В этом случае удобнее матовая поверхность, хотя отпечатки на матовой бумаге теряют детали. К тому же такие снимки легко приходят в негодность (ломаются) при работе в трудных полевых условиях.

С цветных негативов делаются как цветные, так и черно-белые отпечатки, что удобно для работы и обходится дешевле. Количество отпечатков должно быть таким, чтобы всегда оставался чистый контрольный комплект снимков.

Снимки могут быть также отпечатаны в виде диапозитивов на пленке или стеклянных пластинках. Они могут быть введены в компьютер и рассматриваться на экране кинескопа. Печать может быть произведена с выравниванием оптических плотностей. Часть снимков или весь комплект может быть отпечатан с фильтрацией или преобразованием изображения. Однако никаким специальным образом отпечатанные снимки не исключают необходимости в простых контактных черно-белых отпечатках, которые не должны быть разрозненными, чтобы стереоскопически просматривался любой участок местности. Особенно ценны при географическом дешифрировании серии снимков, полученных на одну и ту же территорию в разных масштабах, снятых на различных пленках и в нескольких зонах спектра, в разное время.

Получив задание или сформулировав задачу на изучение или картографирование некоторой территории, исследователь, или картограф, должен ясно представить себе, каким критериям должны отвечать снимки. Их особенности должны быть либо обозначены в задании на съемку, либо определены перед выбором снимков из возможных готовых. Основные критерии выбора: масштаб снимков, их разрешающая способность (детальность изображения), сезон съемки, современность снимков. Совершенно необходимо знать: фокусное расстояние объектива фотоаппарата, а также размер кадра. Все эти характеристики могут быть учтены, если исполнитель или, правильнее, организация, которую представляет исполнитель, в состоянии заказать специальную съемку по правилам аэрофототопографии. Чаще же всего исполнители довольствуются готовыми снимками,

которые уже использовались для топографического картографирования.

Одним из основных критериев выбора является масштаб снимков. Известно, что с уменьшением масштаба происходит обобщение изображения и, как следствие, меняется дешифрируемость снимков. Опытным путем, как результат многолетней практики, были весьма приближенно определены масштабы аэроснимков для дешифрирования растительного покрова, рельефа и элементов гидрографии. Однако пока что мы не можем строго рассчитывать масштаб снимков для дешифрирования конкретных объектов и явлений на определенной территории. Для географического дешифрирования ряда ландшафтных образований можно, например, воспользоваться предложенным О. В. Шумовой графиком для выбора масштаба аэрокосмических снимков по показателю их дешифрируемости (рис. 9.3).

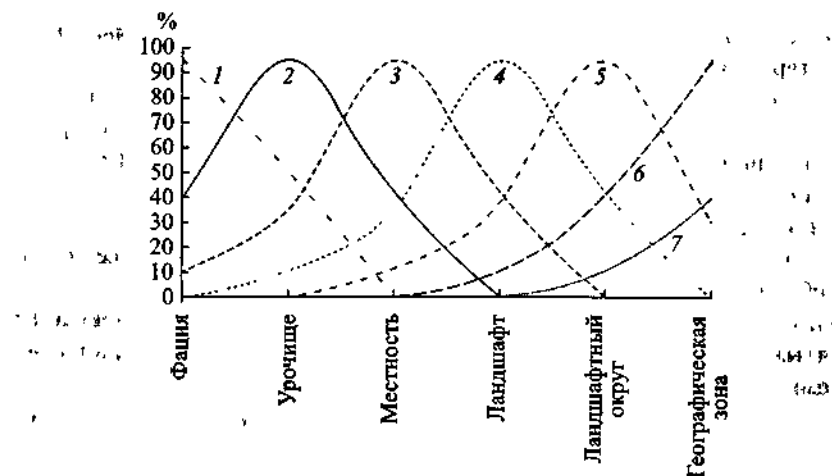


Рис. 9.3 Выбор масштаба снимков по показателю их дешифрируемости 1 — 1 5000, 2 — 1 20 000; 3 — 1 100 000, 4 — 1 1 000 000, 5 — 1 2 500 000, 6 — 1 8 000 000; 7 — 1 10 000 000.

Следующим важным критерием выбора аэрокосмических снимков является их разрешающая способность. Если считать, что острота человеческого зрения и точность графических построений равна 0,2 мм, то формально можно предположить, что минимальные размеры наблюдаемых на снимках объектов будут равны: для масштаба 1:50 000 около 10 м, для масштаба 1:25 000 — 5 м, для масштаба 1:100 000 — 2 м. В действительности минимальные размеры объектов, изобража-

ющихся на снимках, могут колебаться в зависимости от разрешения объектива фотоаппарата или иной съемочной системы, разрешающей способности фотопленки и фотобумаги, контраста ландшафта и других факторов. Разрешение и детальность космических снимков, полученных фотоаппаратами и сканерными системами, колеблются от 1–10 м до 1 км.

Критерием выбора материалов дистанционного зондирования является также их спектральный диапазон. Наибольшее распространение и использование на практике имеют черно-белые фотоснимки, полученные на пленке «панхром». Причин тому несколько. Во-первых, они передают яркостную картину местности, близкую к тому, что мы видим визуально. Во-вторых, они практически универсальны и могут быть использованы для дешифрирования самых разнообразных объектов и явлений. В-третьих, они значительно экономичнее, например, цветных снимков.

При выборе материалов по времени съемок следует учитывать сезон их исполнения. Рассматривая природные условия съемки, мы уже касались этого вопроса и показали, как связан оптимальный сезон съемки с широтной зональностью для территории нашей страны. Точно так же мы уже касались вопроса о современности материалов съемки. Считается, что для территорий мало обжитых и не подвергающихся интенсивному воздействию людей, значительные изменения природы накапливаются за 10–15 лет. Через этот же интервал времени следует обновлять топографические карты. Для сильно преобразованных территорий этот срок сокращается до 5–10 лет. На самом деле необходимо всегда иметь в виду, что существенные изменения природы происходят порой очень быстро, скачком, как, например, при наводнениях, пожарах, землетрясениях и др. Существуют периодические колебания в динамике природных процессов и сезонные. По этим причинам мгновенно зафиксированное состояние местности всегда случайно, что создает трудности при дешифрировании снимков.

При наличии большого количества снимков изучаемой или картографируемой территории достоверное представление о ней невозможно получить путем поочередного рассматривания снимков. Как правило, для этого создают и используют различные монтажи из снимков.

Репродукции накидного монтажа получают при аэрофотосъемке непосредственно после залета. Они выполняют три функции. Во-первых, это документ, на котором зафиксировано качество залета, покрытие снимками площади съемки и др. Во-вторых, это нечто вроде оглавления при комплекте снимков, с помощью которого проще всего

отыскать нужные снимки среди всех прочих. В-третьих, это уменьшенная фотосхема, которая используется и при дешифрировании, когда нужно увидеть местность в целом, и при соединении воедино результатов дешифрирования на пути к карте.

Фотосхемы используются как при камеральных, так и при полевых работах. В отличие от отдельных снимков фотосхемы дают целостное представление о местности на большом пространстве. Благодаря этому повышается надежность дешифрирования. Поэтому фотосхемы находят применение всюду, где обращаются к материалам съемок. Наиболее распространены простые фотосхемы, которые изготавливаются из обычных контактных отпечатков.

Простая фотосхема представляет собой группу нетрансформированных (не исправленных за наклон и не приведенных к единому масштабу) снимков, смонтированных по контурам или иным способом, не требующим геодезического обоснования. Простую фотосхему можно изготовить за очень короткий срок с использованием самых простых вспомогательных материалов и даже в полевых условиях.

При составлении фотосхемы снимки последовательно подмонтируют друг к другу так, чтобы контуры перекрывающихся частей совпали. Полного совпадения контуров по всему перекрытию снимков чаще всего добиться невозможно из-за разномасштабности снимков. На снимках горного района велик параллактический сдвиг контуров. По этим причинам фотосхемы невозможно составить без заметных несовпадений контуров. Впрочем, с этими недостатком монтажа нередко мирятся, так как он в известной мере компенсируется удобством работы с фотосхемами.

Точно так же невозможно составить фотосхему из космических глобальных снимков, однако удобство работы с фотосхемами в известной мере компенсирует этот недостаток. Если же невязки между соседними снимками очень велики, фотосхемы монтируют в виде отдельных маршрутов. Поскольку несовпадения контуров неизбежны, следует стремиться лишь к тому, чтобы они были наименьшими и равномерно распределенными по всей фотосхеме. Для этого монтаж начинают из центра участка или со среднего маршрута (рис. 9.4).

Первоначально снимки закрепляют грузиками или кнопками на специальных столах или подложках, а после обрезки снимков наклеивают их на картон или иную основу. Прежде чем приступить к порезам, необходимо смонтировать все снимки фотосхемы, так как монтирование по контурам не отличается большой точностью и при накладе последнего маршрута снимки могут разойтись, образуя большие

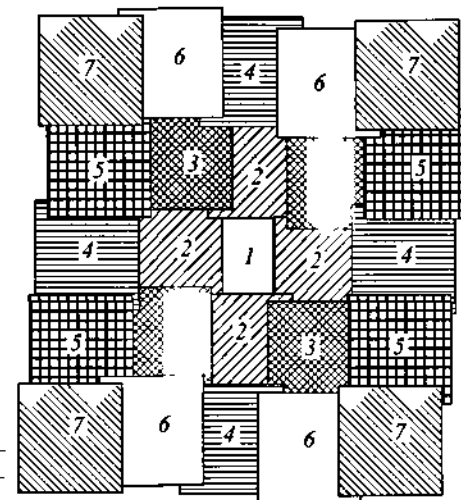


Рис. 9.4. Монтаж фотосхемы. 1—7 — номера кадров указывают последовательность монтажа.

неувязки. В этом случае положение всех снимков приходится исправлять, разбрасывая неувязки по всему полю монтажа. При этом особого внимания требуют главные контуры местности, составляющие основной рисунок изображения: гидрографическая сеть, береговая линия, пути сообщения и др. На стыке соседних снимков по возможности следует исправлять их положение так, чтобы главные линии не имели бы излома на стыке.

Добившись наилучшего взаимного положения снимков, скальпелем или резакон их разрезают по плавной, волнистой линии посередине перекрытия. Все боковые обрезки отбрасывают, схема получается смонтированной из центральных частей снимков, имеющих наименьшие искажения.

Фотосхема наклеивается резиновым или ацетоновым клеем на основу и оформляется соответствующими надписями и подписями названий населенных пунктов, урочищ, рек, озер, указывается масштаб снимков и др. Простая фотосхема обладает сравнительно невысокой точностью. На стыке снимков возникают сдвиги, изломы, вырезы и двоение контуров. Точность монтажа фотосхемы оценивается по величине сдвигов контуров на линиях пореза.

Качество монтажа можно повысить определенными способами, приемами и получить уточненную фотосхему. Эти приемы могут иметь различный характер и в разной степени повышать точность фотосхемы, поэтому уточненная фотосхема не имеет общепринятого

определения. Выделяются, например, «приведенные» фотосхемы, которые состояются из снимков, приведенных к единому заданному масштабу. Уточненными фотосхемами называют также фотосхемы, смонтированные на геодезической основе, полученной в условной системе координат. В качестве геодезического обоснования используются, например, точки на снимках, привязанные к топографической или географической карте. С помощью карты создается основа — каркас, представляющий собой картографическую сетку, на которой в масштабе будущей фотосхемы нанесены опорные пункты, уверенно распознанные на снимках и карте. По опорным точкам производится монтаж снимков, по этим же опорным точкам снимки могут быть предварительно трансформированы. Уточненная фотосхема такого типа называется *каркасной фотосхемой*. Этот способ монтажа используется при создании фотосхем как из аэроснимков, так и из космических снимков.

Простые и уточненные фотосхемы состояются как из кадровых снимков, так из снимков-полос, получаемых сканирующими камерами, например при радарной или инфракрасной съемке. Однако искажения из-за кривизны поверхности Земли на краях полос могут быть так велики, что монтаж получится со значительными погрешностями. Напомним также, что эти искажения обычным трансформированием не исправляются. Можно только изображение из одной проекции преобразовать в другую.

В практике дешифрирования космических снимков используют *мозаичные фотосхемы*, составленные из снимков разного времени съемки, с разных витков орбиты, с тем, чтобы фотосхема содержала, например, только снимки с хорошей видимостью суши и моря, без облаков, туманов и других атмосферных явлений, препятствующих дешифрированию земной поверхности. Для метеорологического дешифрирования, для нужд синоптиков нужны монтажи из снимков, полученных в максимально короткий промежуток времени, чтобы на фотосхемах было отражено практически мгновенное состояние облачного покрова над большими пространствами Земли.

Особую группу составляют *стереоскопические фотосхемы*. Различаются стереофотосхемы, которые можно рассматривать в обычный стереоскоп, и анаглифические фотосхемы, рассчитанные на наблюдение через красно-синие или красно-зеленые очки. Стереофотосхемы целесообразно составлять в тех случаях, когда возникает необходимость получить представление о рельефе местности, занимающей площадь большую, нежели размер снимка.

Стерофотосхемы монтируются в виде двух полос шириной 10–12 см. Одна полоса монтируется из левых половинок снимков, а вторая из правых. Для совместного рассматривания обеих полос применяется обычный или специальный стереоскоп для рассматривания маршрутных фотосхем.

Фотопланом называется план местности, составленный на твердой геодезической основе из трансформированных снимков. Фотоплан монтируется на планшете, на который по координатам наносятся опорные геодезические точки. Таких точек должно быть четыре на каждый снимок. Их плановое положение определяется обычными геодезическими способами. Однако это требует больших затрат времени и средств. Поэтому в поле определяется лишь некоторая часть точек, равномерно распределенная вдоль съемочных маршрутов. Плановое положение остальных точек получается в результате камеральной обработки снимков — построения плоской или пространственной фототриангуляции.

Плоская графическая фототриангуляция представляет собой фотограмметрический способ определения планового положения точек местности по снимкам посредством пересечения направлений, проведенных из центров смежных снимков на определяемые точки. На снимках с малыми углами наклона центральные направления, проведенные из главной точки снимка, имеют ничтожно малые искажения при условии, что снятая местность равнинная.

Графическая фототриангуляция развивается по маршрутам в виде ромбических рядов. Работа начинается с того, что на снимках выбираются и накалываются следующие точки (рис. 9.5):

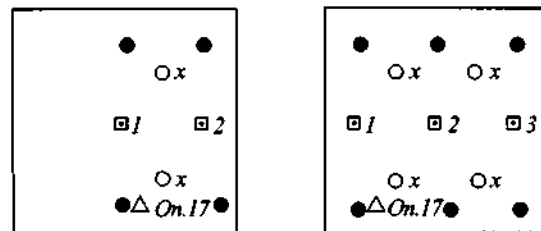


Рис. 9.5. Расположение точек фототриангуляционной сети

- центры снимков в пересечении координатных осей (1,2,3...);
- две связующие точки в верхних и нижних частях снимков;
- трансформационные точки x , которые выбираются в зоне тройного перекрытия снимков примерно посередине отрезков, соединяю-

щих центры снимка с его углами. Определение планового положения трансформационных точек является задачей фототриангуляции;

г) плановые точки (опознаки), положение которых определено в поле геодезическими способами. Таких опознаков может быть всего два на концах маршрута.

После этого на каждый снимок накладывается восковка, на нее переносятся все точки и проводятся направления на них из центра снимка. Получаются так называемые восковки направлений. Смонтировав все восковки вместе по направлениям, соединяющим центры снимков, исполнитель получает ряд фототриангуляции, который показан на рис. 9.6.

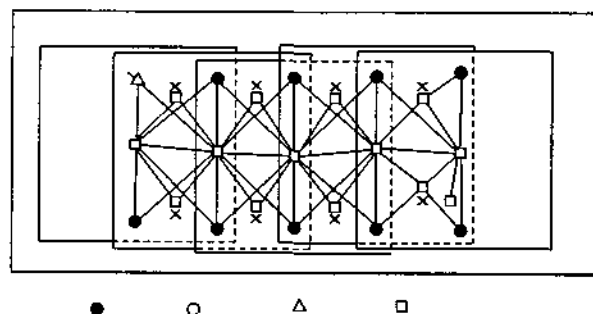


Рис. 9.6. Ромбический ряд фототриангуляции.

Восковки направлений одного маршрута монтируются на полосе кальки, на которую перекальваются центры снимков и точки. Построенный фототриангуляционный ряд точек затем редуцируется, т. е. приводится к масштабу создаваемого фотоплана на основе имеющихся опознаков.

Эта работа выполняется на фоторедукторе (рис. 9.7), в кассету которого закладывается полоса кальки с точками и проецируется на планшет.

Перемещая камеру редуктора по высоте, добиваются совмещения опознаков, наколотых на кальке, с теми же точками, нанесенными на планшет. После этого перекальвают все остальные точки фототриангуляционного ряда на планшет. В результате получается планшет с нанесенными на нем опознаками и трансформационными точками, имеющими твердое плановое положение в масштабе будущего фотоплана.

Трансформационные точки и опознаки служат сначала основой

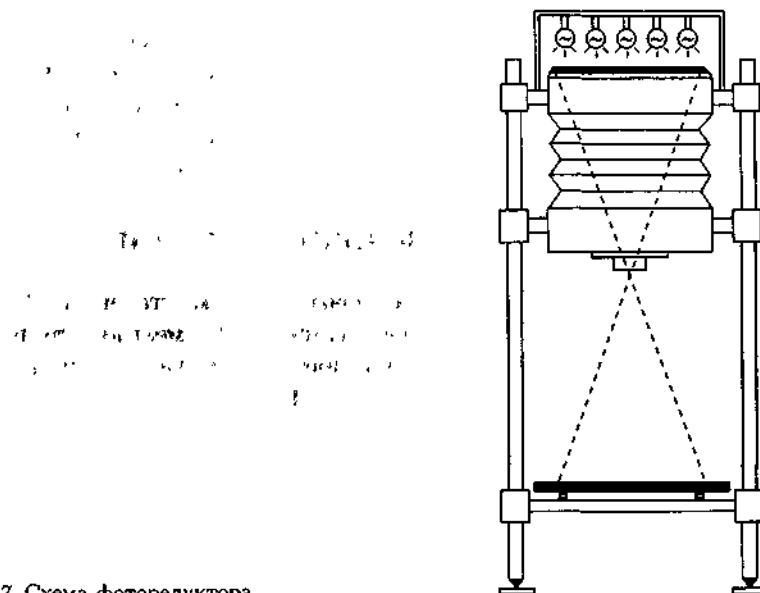


Рис. 9.7. Схема фоторедуктора.

для трансформирования снимков, а затем на планшете по ним монтируется фотоплан. На трансформированных снимках специальным прибором — пуансоном пробивают небольшие отверстия в трансформационных точках. Это позволяет точно поместить каждый снимок на свое место на планшете.

Готовый монтаж проверяется, и затем снимки режутся посередине двойного перекрытия и наклеиваются на планшет, как и при составлении фотосхем. Расхождение контуров по линиям порезов снимков не должно превышать на фотоплане 0,5–0,7 мм. Снимки наклеиваются на планшет безводным клеем, который не деформирует бумагу.

Другим способом камерального определения (сгущения) опорных точек является пространственная фототриангуляция. Сущность ее состоит в том, что строится модель (стереомодель) местности по одной паре снимков или вдоль целого маршрута. Пространственная фототриангуляция выполняется либо оптико-механическим способом на универсальных стереофотограмметрических приборах: СПР и др., либо осуществляется аналитически путем расчетов, в том числе с использованием компьютера по данным измерений, выполненных на стереоизмерительных приборах, например стереокомпараторе.

Методом пространственной фототриангуляции могут быть получены не только плановые, но и высотные точки в таком количестве, что-

бы можно было рельеф местности изобразить горизонталями. Поэтому пространственная фототриангуляция входит в технологию универсального стереофотограмметрического метода создания карт по снимкам и детально рассматривается в учебниках и руководствах по фотограмметрии и аэрофототопографии.

9.3. ПОЛЕВОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ СНИМКОВ

Полевое дешифрирование заключается в том, что снимки (фотосхемы, фотопланы или копии с них) сливаются с местностью непосредственно в натуре. На них распознаются местные объекты, устанавливаются их свойства и взаимосвязи. При полевом дешифрировании исследователи прямо соприкасаются с изучаемыми или картографируемыми объектами и поэтому могут использовать другие методы исследования совместно с дешифрированием. Попутно устанавливаются и собираются все сведения, не поддающиеся дешифрированию.

Дешифрирование начинается с подготовительных работ и завершается обработкой и оформлением результатов. Подготовительные работы включают сбор и изучения материалов съемки, ведомственных материалов, просмотр топографических и географических карт различного содержания. Карты и снимки должны быть сопоставимых масштабов. Карты масштаба 1:100 000 при работе со снимками 1:10 000–1:20 000 в необжитых районах дают очень мало дополнительных сведений и практически бесполезны, если на местности с момента картографирования и съемки произошли изменения. Точно так же при дешифрировании глобальных космических снимков мало полезными могут оказаться крупномасштабные топографические карты.

Весьма подробные сведения можно получить из ведомственных источников: планов землепользования и лесоустройства и др. Из сопоставления данных, полученных из различных источников, устанавливается степень доверия к материалам и к снимкам. Все собранные материалы привязываются к основной карте или сводятся в единую схему общегеографического или тематического содержания.

Просмотр снимков и карт должен быть детальным. Особое внимание обращается на объекты и явления, характер которых или неясен, или вызывает сомнения из-за несоответствия сведений, полученных из разных источников. Результат предварительного изучения местности может быть выражен в общем физико-географическом описании местности, в разработке схемы ландшафтного районирования территории, в составлении или корректировании условных обозначений. При топо-

графических съемках, и особенно при массовом исполнении дешифровочных работ несколькими топографами, составляются редакционные указания.

Перед выходом в поле устанавливается система обозначений, которой будет пользоваться дешифровщик, фиксируя результаты дешифрирования. При топографическом картографировании пользуются установленной системой условных знаков, но и ее следует правильно интерпретировать и применять. Когда же единых общеобязательных условных знаков нет, следует заранее договориться, что именно и как будет дешифрироваться и обозначаться.

Хорошее знакомство с местностью дает основание для предварительного камерального дешифрирования снимков. Обычно поднимают гидрографическую сеть, оконтуривают все объекты, которые безусловно правильно дешифрируются камерально и мало изменяются со временем. Если прошло много лет со времени съемки, воздерживаются от оконтуривания лесов и других элементов растительного покрова. С ведомственных материалов переносят на снимки новые сведения, например о путях сообщения, средств связи и транспортировок.

Для полевого дешифрирования используются преимущественно снимки в виде комплекта отпечатков, реже — фотосхемы и фотопланы и копии с них. В связи с тем, что результаты дешифрирования иногда обозначают прямо на снимках, удобно иметь отпечатки на матовой бумаге, но она, к сожалению, не выдерживает полевых условий, ломается и крошится.

В связи с тем, что дешифрирование ведется на каждом снимке в пределах рабочей площади, образованной линиями, проведенными посередине двойного перекрытия снимков, эти границы должны быть проведены заранее. В поле они будут линиями смены снимков. При работе в гористой местности во избежание пропусков в пределах каждого снимка намечают начало и конец отрезка маршрута. Показываются также границы сплошного полевого дешифрирования.

Перед выходом в поле полезно определить фактический масштаб снимков, например с помощью карт, и поместить на снимках линейный масштаб. Последний помогает получить правильное визуальное представление о реальных размерах наблюдаемых на снимках объектов. Аэроснимки могут быть ориентированы по странам света, исходя из тех соображений, что аэрофотосъемочные маршруты, как правило, прокладываются в направлении восток-запад, а снимки нумеруются по северной рамке кадра.

Подготовительные работы завершаются разработкой маршрутов

обхода территории. Полевое дешифрирование может быть сплошным, по разреженным маршрутам или выборочным на ключевых участках. При сплошном полевом дешифрировании маршруты обхода территории намечают таким образом, чтобы при их наименьшей длине дешифровщик обследовал каждый контур и распознал все объекты путем прямого сопоставления снимка с натурой.

Самым распространенным способом является полевое дешифрирование по разреженным маршрутам. Протяженность и направление маршрутов выбирают так, чтобы обеспечить знакомство со всеми характерными объектами на территории. Вместе с тем маршруты намечают экономно. Они не должны пересекаться, проходить несколько раз по одному и тому же участку или по однотипной местности. Принято считать, что при дешифрировании вдоль маршрута надежно может быть отдешифрирована полоса шириной до 500 м в открытых районах и 250 м — в закрытых. Это значит, что, если местность абсолютно проходима во всех направлениях, для сплошного полевого дешифрирования одного снимка масштаба 1:10000 в пределах полезной площади нужно проложить 3 км маршрутов в открытых районах и 6 км — в закрытых; при работе со снимками 1:25 000 соответственно 25 и 50 км маршрутов.

В действительности размещать маршруты приходится как с учетом перечисленных правил, так и реальных условий местности. Маршруты выбираются в зависимости от того, насколько развита сеть дорог и в соответствии с требованием посетить все сложные участки. Чем однообразнее местность, тем разреженнее могут прокладываться маршруты. Но монотонность изображения на снимках не всегда свидетельствует об ее однообразии в натуре. И наоборот, пестрый рисунок на снимках может и не означать сложность и разнообразие природы на территории. Примером такого рисунка является изображение на аэроснимках ландшафта тундр и дельт крупных рек.

Вдоль маршрутов на типичных или трудно дешифрирующихся участках намечаются станции — ключевые участки, на которых одновременно с дешифрированием снимков будут проведены некоторые полевые работы.

Снимки складываются в определенном порядке, обычно по номерам и маршрутам съемки или по путям наземного передвижения. Этот порядок необходимо поддерживать в поле. Дешифровщик берет с собой в маршрут иногда более сотни снимков, и беспорядок в их хранении нередко влечет за собой потерю ориентировки.

Собственно полевое дешифрирование начинается с надежного, лег-

ко распознаваемого контура. Подойдя к нему, дешифровщик ориентирует снимок и сличает изображение с натурой. В большинстве случаев местные объекты без затруднений отождествляются с изображением. Осложнения возникают там, где исчезает соответствие между снимками и местностью. При этом встречаются с разными случаями.

На снимках могут не изобразиться некоторые объекты, существующие в натуре. Это относится прежде всего к объектам малого размера. Кроме того, возможны изменения на местности, в результате которых возникли новые объекты. Это чаще всего следы деятельности людей. Если эти новые предметы и образования интересны исследователю или должны показываться на картах, они могут быть нанесены на снимки глазомерными или инструментальными методами. В качестве опорных точек используются имеющиеся на местности и распознанные на снимках контурные точки.

Существуют различные способы определения положения и нанесения на аэроснимки недостающих объектов. Способ створов состоит в том, что на местности и на снимке выбирают две точки, в створе которых находится дешифрируемый объект. Измерив расстояние по створу от искомого объекта до известного и отложив его на снимке, находят положение дешифрируемого объекта. Способ промеров заключается в том, что на снимке и на местности находят две идентичные точки. Между ними измеряют расстояние — магистраль. Перпендикулярно магистрали делают промеры до объекта.

Способ линейной засечки основан на промерах линии от дешифрируемого объекта до двух распознанных на снимке точек. Затем с распознанных точек делают измерителем засечки. Радиусы дуг засечек в масштабе снимка соответствуют отрезкам, измеренным на местности.

Полярный способ применяется в тех случаях, когда требуется обозначить на снимке много новых объектов. При этом способе положение объектов определяется с твердо распознанной на снимке точки по углу и расстоянию. Углы откладываются от направления, фиксированного на местности и на аэроснимке. Возможны и другие способы или сочетания различных приемов. Точность всех способов зависит от того, насколько велики геометрические искажения изображения на снимке из-за его наклона и влияния рельефа местности.

На снимках можно также обнаружить тональную (цветовую) и контурную структуру и текстуру, которые прямо не идентифицируются на местности. Обнаружив такое несовпадение, следует убедиться, что это не брак снимка, сравнив изображения на перекрывающихся частях

снимков. Одна из причин может быть в отблеске с глянцевой поверхности открытой воды или в игре светотени.

Изображение может не совпадать с действительным видом местности по весьма распространенной причине — из-за несоответствия времени съемки и полевых работ. За истекший срок могли произойти разные изменения в растительном покрове, гидрографической сети, особенно в увлажненности территории, которая к тому же могла интенсивно осваиваться и застраиваться.

В других случаях тональная или цветовая структура рисунка фотонизображения может свидетельствовать о наличии и свойствах объекта, которые визуальнo в натуре не обнаруживаются. Это могут быть, например, различия в почвенном покрове и степени его увлажненности. На аэрофотоснимках мелких масштабов и космических снимках в силу большого обобщения «просвечивают» геологические структуры.

В процессе дешифрирования неизбежно приходится производить отбор и обобщение распознанного, опуская все, что уже не существует в натуре, и принимая во внимание те изменения, которые произошли в природе на данный момент.

Прямое сопоставление снимков с местностью отнюдь не делает дешифрирование совершенно безошибочным. Кроме погрешностей распознавания появляются ошибки толкования объектов, отнесение их не к той категории. Ошибки такого рода особенно часты при интерпретации азональных и интразональных явлений и объектов, не свойственных географической зоне, в пределах которой ведется работа. При топографическом дешифрировании единообразие в подходе к объектам дешифрирования обеспечивается географом-редактором, в других случаях — научным руководителем.

Возможны ошибки распознавания при использовании только плоского изображения. При работе в поле ценным является умение рассматривать пары снимков объемно, без стереоскопов. Обычно же для полевых работ применяют портативные складные линзовые стереоскопы малого веса с увеличением от 1,5 до 3 раз. Созданы специальные комплекты, куда входят карманный стереоскоп и планшет для размещения снимков. В комплект «Топопрет» (Германия) входят также измерительная рулетка, циркуль, параллактическая линейка для измерения высот. Все это помещается в специальной сумке.

По мере накопления сведений и материалов возникает необходимость в их регистрации. Для этой цели используют разные способы: составление схем, зарисовки, ведение записей, фотографирование или, чаще всего, все вместе. Каждый из способов регистрации имеет свои

достоинства и недостатки. Важно только, чтобы все записи были увязаны между собой, сопоставимы и локализованы на снимках. Записи должны быть настолько полными и обстоятельными, чтобы они были понятны любому их потребителю при обработке наблюдений и результатов дешифрирования в дальнейшем. Если работу выполняют несколько дешифровщиков, особое внимание обращается на сводку с соседями, чтобы не образовывалось разрывов, больших накладок и существенных разночтений в результатах дешифрирования.

По ходу дешифрирования все распознанное обозначается либо непосредственно на снимках, либо на на кальке или ином прозрачном материале, наложенном на снимок. Обозначение на кальке встречается чаще при тематическом дешифрировании и картографировании. При топографическом дешифрировании исполнитель вычерчивает ситуацию непосредственно на снимках перьевыми авторучками. Используется также обратная сторона снимков для абрисов и записи пояснений.

Все вычерченные контуры должны быть показаны точно на своих местах, а обобщения должны быть обоснованными. Во избежание накопления ошибок все наблюдения фиксируются немедленно — на месте наблюдения. Полевые записи ведутся в специальных журналах или дневниках, в которых записываются входные данные (номер снимка, наименование маршрута, станция наблюдения), производятся схематические зарисовки ситуации и заносятся результаты полевых измерений. Не раз возникала идея о стандартизации зарисовок с тем, чтобы они, сохраняя наглядность обычного перспективного рисунка, в то же время были сопоставимы и читались без пояснений.

Одним из способов фиксации образа местности является фотографирование. Научное фотографирование имеет свои характерные черты. Особенность информации, которая отличает географическую фотографию, — ее максимальная наглядность и достоверность. Документальность присуща всякой фотографии, но не всякая фотография может оказаться полезной в последующем при камеральном дешифрировании. Для научной фотографии характерны, во-первых, стандартность в выборе материала, приемов съемки, обработке материалов, во-вторых, выразительность ее основного содержания.

Объектом фотографирования в поле могут быть как отдельные предметы, так и общий вид местности. На наземных фотографиях может быть отображено пространственное распределение объектов с большей, чем на аэроснимках, детальностью и в более привычном, узнаваемом виде. Особенно ценно, если наземные и аэроснимки имеют нечто общее в макроструктуре изображения. Тогда возможно со-

поставление, взаимная увязка объектов. Для этой цели удобны панорамные снимки с высоких точек наблюдения

Иногда возникает необходимость в регистрации пространственно-го образа местности. Стереоскопическое фотографирование позволяет запечатлеть ее объемную картину, которая затем может быть детально и многократно рассмотрена в камеральных условиях. Такие снимки можно сделать любой портативной камерой. Основная задача — выбрать подходящий базис съемки, чтобы стереомодель имела наибольшую стереоскопичность. Другими словами, нужно, чтобы стереоскопически воспринималась возможно малая разность отстояний.

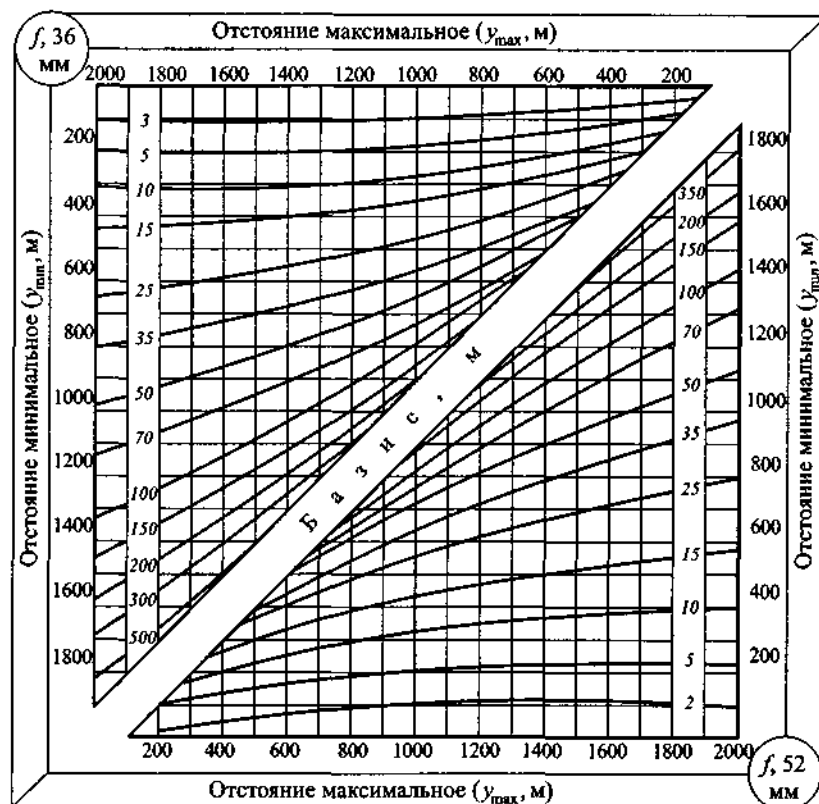


Рис 9.8 Номограмма для определения базиса съемки при стереофотографировании портативными камерами

Базис фотографирования B вычисляется по формуле

$$B = \frac{\Delta p}{f} \frac{y_{\max} \cdot y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}},$$

где Δp — допускаемая разность параллаксов, ее предельное значение не должно превышать 6 мм, при большей разности параллаксов стереоскопическая картина воспринимается с трудом или вовсе не воспринимается; y_{\max} — отстояние от базиса (от наблюдателя) до дальней границы фотографируемого пространства (объекта); y_{\min} — отстояние до ближайшей границы. Таким образом, $y_{\max} - y_{\min}$ есть глубина фотографируемого пространства.

Базис получается тем больше, чем дальше объект и меньше глубина фотографирования. В некоторых руководствах предлагают во всех случаях фотографировать с базиса, равного главному базису — 65 мм. Однако, при малой глубине фотографирования и большом отстоянии объекта, он может восприниматься под стереоскопом только как плоский.

Для определения базиса можно пользоваться готовыми номограммами (рис. 9.8), измерять базисы в натуре можно шагами и дальномером фотоаппарата (до 20 м).

9.4. ВИЗУАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ И ГЛАЗОМЕРНЫЕ СЪЕМКИ

Мысль о том, что с высоты птичьего полета можно увидеть много интересного и важного, посещала жителей Земли еще до появления летательных аппаратов. Как только успехи воздухоплавания открыли возможность полетов с человеком на борту, сразу же начали использовать летательные аппараты для наблюдений. Сейчас визуальные исследования и наблюдения с летательных аппаратов, используя различные технические средства, проводятся часто и с разными целями в интересах многих потребителей. Организация их может быть также разнообразна: от свободного облета территории для общего ознакомления с местностью до регулярных полетов и наблюдения по разработанной программе

Систематические наблюдения за состоянием и динамикой природной среды проводит, например, Гидрометеослужба страны, наблюдая за осенним ледоставом и весенним ледоходом на реках и озерах и за возникновением лесных пожаров. Осуществляются регулярные наблю-

дения за последствиями антропогенных воздействий на природу, так называемый экологический мониторинг.

Воздушная географическая разведка всегда имела место, но чаще всего как эпизодическое мероприятие. Систематические визуальные наблюдения стали применяться как самостоятельный метод исследования земных ресурсов, когда на земную орбиту были запущены первые пилотируемые космические корабли. Исследование природы, наблюдения за ее состоянием и развитием предусматриваются программами полетов. Как правило, наблюдения сочетаются с выборочной фотографической съемкой.

Визуально-инструментальные наблюдения производились со всех пилотируемых космических аппаратов. Например, во время полета станции «Салют-6», на которой в течение полугода работали пять основных экспедиций, четверть рабочего времени была отведена решению природоведческих задач. На визуально-инструментальные исследования было затрачено 900 часов, проведено 300 сеансов. Очень часто основным инструментом был бинокль с 10-кратным увеличением, хотя конструировались и специальные оптические системы. Так, на станции «Салют-3» наблюдения велись с использованием видеосистемы «Нива».

Третьей экспедицией на спутнике «Скайлэб-4» (США) было проведено 850 наблюдений в интересах решения 14 научных задач, в частности, велись наблюдения за рождением, развитием и динамикой штормов, за состоянием поверхности океанов, растительного покрова, пустынь, за деятельностью вулканов и прохождением селей и пр.

Результаты наблюдений регистрировались различным образом: на бланковых картах или непосредственно в атласах, записывались в специальных бортовых журналах, интересные и важные явления и объекты снимались ручными фото- и кинокамерами или видеоманитофонной аппаратурой, словесный текст записывался также на магнитофон.

Опыт показал, что присутствие человека на борту космического аппарата и материал, полученный им визуально, делает программу исследований более гибкой, а сами результаты более полными, насыщенными информацией. Кроме того, постоянное присутствие спутника на орбите позволяет вести практически непрерывные регулярные наблюдения, избегая потерь ценной информации.

С внедрением вертолета в практику поисковых и исследовательских работ стало развиваться аэровизуальное дешифрирование снимков, все более сочетаясь с непосредственным полевым. Оно оказалось особенно полезным при работе в тундре, тайге, пустыне, всюду, где

перемещение по земле занимает больше времени и отнимает много больше сил, чем сам процесс дешифрирования. При дешифрировании снимков с вертолета наблюдатель находится в более выгодных условиях, чем наземный дешифровщик, благодаря большему обзору и возможности увидеть местность с разных высот.

Специалисты-топографы (Л. А. Богомолов и др.) находили у аэровизуального дешифрирования много бесспорных преимуществ перед наземным полевым. Среди них простота проникновения в труднодоступные районы страны, удобство производства наблюдений, возможность распознавания таких элементов поверхностного покрова Земли, которые на снимках не различаются, и др.

Для аэровизуального дешифрирования требуется вертолет с хорошим обзором; используются вертолеты МИ-4, МИ-8, МИ-8Т, а также Ка-18 и Ка-26. Рекомендуются высота полета 200–400 м и скорость полета 70–100 км/ч. Этот режим выработан для работы с обычными аэрофотографическими снимками крупного и среднего масштабов. При такой высоте полета обеспечивается прямое визуальное узнавание объектов на местности, хорошее соотношение между изображением на снимках и визуально наблюдаемым видом местности, сравнительно медленное перемещение местности под вертолетом и большой радиус обзора. Вообще же при выборе высоты полета имеется в виду, что детальность, с которой наблюдатель видит местность, должна соответствовать обобщенности снимков. Таким образом, высота полета должна выбираться по масштабу снимков, а по высоте полета и обобщенности снимков подбирается скорость полета.

Работа начинается с общего ознакомления с территорией по картам, снимкам и другим источникам, а также с рекогносцировочного полета. Затем продлевается предварительное камеральное дешифрирование, уточняется система обозначений распознанного и в целом легенда. Система записи наблюдаемого и распознанного в полете может быть письменной, графической или словесной на магнитофоне. Запись на магнитофоне очень ёмка, требует мало времени, не отрывает дешифровщика от наблюдений, но требует предварительной подготовки исполнителя и снимков. На снимках вдоль маршрутов полета предварительно оконтуривают или обозначают и нумеруют все объекты, подлежащие аэровизуальному дешифрированию. Сами снимки складывают или монтируют в последовательности, соответствующей выбранному маршруту полета. Маршруты полета намечают, исходя из тех же соображений, которыми руководствуются при выборе наземных маршрутов, но учитывается возмож-

ность полета в любом направлении. Маршрут наносят на полетную карту.

Вся работа выполняется в такой последовательности. Сначала вдоль контрольного маршрута два исполнителя проделывают независимо друг от друга аэровизуальное и полевое дешифрирование, результаты которых сличают. Так отрабатывается методика работы и учитываются особенности территории, локальные местные признаки объектов. Если контрольного маршрута не было, тогда после всех аэровизуальных работ делается контрольный маршрут или контроль на ключевых участках.

Аэровизуальное дешифрирование рационально проводить одновременно двум операторам, каждому в полосе шириной до одного километра по левому и правому борту вертолета. Опыт показывает, что при такой организации работы через 1,5–2,5 ч непрерывной работы наступает утомление, и надежность результатов дешифрирования заметно падает. Работа либо прерывается, либо поручается сменному составу дешифровщиков.

Если между снимками и местностью обнаруживаются несовпадения, то возникают те же затруднения, что и при наземном дешифрировании. Однако в полете нет резервного времени, чтобы остановиться, оглянуться. Поэтому аэровизуальное дешифрирование эффективно только при прямом, непосредственном распознавании таких объектов, появление которых на снимке не является неожиданностью.

9.5. КАМЕРАЛЬНОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ СНИМКОВ

Камеральное дешифрирование производится в лабораторных условиях на основе прямых и косвенных признаков с использованием всевозможных вспомогательных материалов. Камеральное дешифрирование значительно экономичнее полевого, но менее надежно и, кроме того, не учитывает изменений, произошедших на местности с момента съемки.

Поэтому к снимкам, используемым в камеральном дешифрировании, предъявляются повышенные требования. Они должны быть достаточно контрастными, нормальной плотности и отпечатаны с максимальной проработкой теневых и освещенных участков. Удобно иметь снимки, отпечатанные с одного негатива разными способами. Один из способов упрощения и ускорения поиска информации — одновременное дешифрирование обычных и отфильтрованных отпечатков. Еще

лучше, если в распоряжении дешифровщика есть серия снимков, полученных синхронно в разных участках спектра.

Для того чтобы исключить промахи и обеспечить надежность результатов дешифрирования, а также экономно расходовать время, процесс камерального дешифрирования должен быть упорядочен. Работу начинают с общего просмотра снимков и ознакомления с районом по картографическим и иным материалам. Затем более детально с помощью стереоскопов и луп просматривают снимки и повторяют это неоднократно до полного представления о местности в общем и в деталях. По мере накопления фактических сведений, на основе известных ранее и выявленных связей составляется суждение о таких явлениях, которые непосредственно не обнаруживаются.

Анализ снимков (сознательно или интуитивно) производится по принципу от общего к частному, от общих очертаний к содержанию контуров, от крупных объектов к мелким, от непосредственно видимых объектов к тем, что дешифрируются косвенно. Сначала происходит накопление фактов, затем, по мере знакомства с местностью, происходит их сортировка и устанавливается их важность для решения задачи, во имя которой и производится дешифрирование снимков. Перелом в ходе дешифрирования наступает обычно в тот момент, когда уяснены общие закономерности представленного на снимках природно-территориального или природно-антропогенного комплекса. Таким образом, в ходе дешифрирования всегда общая географическая (ландшафтная) характеристика местности предшествует специальному анализу содержания снимков.

Порядок специального (тематического) дешифрирования зависит от поставленных целей и задач, характера местности и масштаба снимков. В частности, особенности горной и равнинной местности таковы, что в первом случае анализ снимков следует начинать с рельефа, а во втором — с растительного покрова или других компонентов ландшафта. В районах с развитой гидрографической сетью дешифрирование следует начинать с ее выявления и обозначения. В обжитых районах в первую очередь дешифрируются населенные пункты и пути сообщения. Но все это существенно зависит от масштаба снимков или, лучше сказать, степени обобщенности изображения. Масштаб определяет ведущие элементы в рисунке изображения, с которых и начинается анализ.

Следует различать порядок дешифрирования снимков и порядок обозначения результатов дешифрирования. Объекты, с которых начинается процесс распознавания, могут и не отражаться в окончатель-

ных результатах дешифрирования. Порядок работы можно сформулировать таким образом: дешифрируется, т. е. распознается, все, отбирается и сохраняется в конечном результате только то, что определено задачей дешифрирования.

Чешский ученый Р. Чапек выделяет два способа камерального дешифрирования снимков: систематический и логический. Систематический способ представляет собой последовательное дешифрирование всего содержания снимков по порядку. В США этот способ называется «fishing expedition», т. е. «ловля рыбы». Он затяжной, утомительный, но наиболее эффективный, так как ничто не ускользает от нашего внимания. Логический способ требует меньше труда, но большей изобретательности. Заранее оценивается, где необходимо искать дешифрируемый элемент, и тем самым исключаются все снимки, на которых он, вероятно, не будет встречаться. Этот способ эффективен при знакомстве с местностью и достаточных знаниях и профессиональном опыте дешифровщика. Дешифрирование обоими способами может вестись поэлементно в пределах всей занятой площади или по участкам. Начинают всегда с того, что легче всего обнаруживается и распознается на снимках. Просмотр снимков повторяют неоднократно.

Ведущей методикой дешифрирования космических снимков, как было сказано выше, пока является анализ их содержания совместно с картами. При отсутствии непосредственных полевых наблюдений карты становятся единственным источником предварительных сведений о местности, без чего невозможно сколько-нибудь надежное камеральное дешифрирование снимков. Организация подспутниковых наблюдений и аэрофотосъемок не снижает значения карт, которые в этом случае играют роль своеобразного эталона.

Работа начинается с географической привязки космических снимков: установления географической принадлежности и границ снятого района путем отождествления основных контуров на снимках и картах. Более точная картографическая привязка с детальной идентификацией контуров на снимках и картах выполняется не только визуально, но и путем их совмещения. Еще более строгая привязка снимков в картах может быть осуществлена геодезически по точкам, координаты которых на снимках известны, например географические координаты центров снимков.

Гидрографическая сеть является основным контуром, по которому можно почти безошибочно отождествить снимки и карты. Береговая линия океанов, морей, очертания крупных озер и границы горных ледников уверенно распознаются на снимках и картах близких масшта-

бов, если они не слишком искажены перспективностью изображения на снимках и обобщенностью контуров на картах. Задача облегчается тем, что любые по содержанию и назначению карты содержат контуры гидрографической сети.

Определение географической принадлежности районов, не имеющих четко выраженной гидрографической сети или характерных очертаний береговой линии, дело более сложное. Еще труднее отождествлять рельеф местности, поскольку он совершенно по-разному изображается на картах и отображается на снимках. Карты очень часто лишены светотени, а на снимках нет горизонталей.

Визуальное сопоставление снимков и карт предвзывает всякий более глубокий анализ и дает для него основание. И хотя таким путем не всегда получается однозначный ответ на вопрос «что это за объект или явление?», само по себе совпадение деталей изображения чрезвычайно интересно, оно указывает на связь явлений и позволяет производить косвенное дешифрирование.

Приборы, употребляемые при дешифрировании снимков, включают увеличительные стекла-лупы, стереоскопы различных конструкций, измерительные инструменты, стереофотограмметрические и фотометрические приборы. С внедрением в аэрокосмические методы компьютерной обработки снимков, процесс дешифрирования включил в себя процедуры попутного преобразования и фильтрации снимков и проведения на них некоторых измерений.

Лупы используются разного увеличения — кратности. Она вычисляется из отношения расстояния наилучшего зрения (приблизительно 250 мм) к фокусному расстоянию линзы. Наиболее употребительны 4-кратные лупы.

Для поиска мелких деталей на негативах применяются лупы с увеличением 8–10 раз. Удобны лупы с плавно меняющимся увеличением. Лупы на подставке предпочтительнее ручных, а также лупы с большим диаметром, позволяющие видеть изображение сразу двумя глазами. Это создает некоторую иллюзию рельефности изображения.

Стереоскопы для камеральных работ используются различных модификаций. Наиболее удобным и широко распространенным является настольный складной линзово-зеркальный стереоскоп ЛЗ, описанный выше.

Специально созданным стационарным прибором для дешифрирования снимков является *интерпретоскоп* (рис. 9.9).

Он выпускался в двух вариантах. Один из них обычный, для работы одного дешифровщика. Другой — снабжен двойной окулярной си-

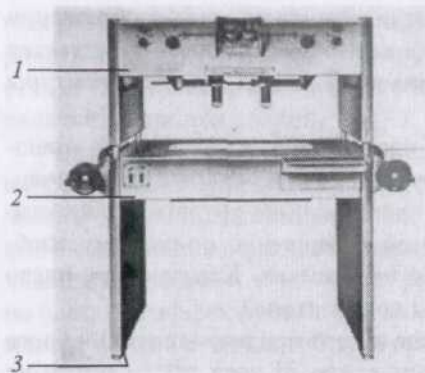


Рис. 9.9. Интерпретоскоп. 1 — коробка оптической системы; 2 — световой стол; 3 — станина.

стемой для одновременного наблюдения стереомодели двумя дешифровщиками, например топографом и географом. Это так называемый «совещательный» вариант прибора. В последних моделях интерпретоскопа имеется ряд дополнительных приспособлений и устройств, в том числе для упрощенных картосоставительских работ. Одно из достоинств интерпретоскопа — панкратическая система наблюдения, которая позволяет плавно без потери стереоскопичности изменять увеличение системы от 5 до 16 крат. Оптическая система обеспечивает взаимное ориентирование произвольно положенной пары снимков. Работать можно с цветными и черно-белыми снимками всех размеров, а также с диапозитивами и неразрезанными фильмами-негативами. Прибор имеет специальное устройство для измерения превышений.

Более сложные стереофотограмметрические инструменты разработаны и используются для создания карт. Эти приборы позволяют не только воспроизводить стереомодель местности, но и выполнять на ней измерения с высокой степенью точности. Они не рассчитаны на какое-либо тематическое дешифрирование снимков, однако топографическое дешифрирование может быть сделано по ходу составления топографической карты.

Работа со стереоскопическими приборами может оказаться очень утомительной, если не соблюдены некоторые правила стереоскопического наблюдения снимков. Размещая снимки под стереоскопом, нужно следить за тем, чтобы стереоэффект возникал не за счет мышечных усилий глаза, что обязательно и быстро приведет к утомлению зрения. Проверяется это очень просто. Достаточно, добившись стереоэффекта, закрыть глаза на 5–6 с и вновь открыть. Если стереоэффект возникает не сразу, а сначала изображения наплывают друг на друга, значит, гла-

за приспособляются к невыгодным условиям наблюдения, и снимки нужно сдвинуть или раздвинуть вслед за движениями глаз.

С развитием мультиспектральной съемки появилась необходимость в совместном рассматривании разных снимков. В США было сконструировано специальное устройство для совместного, раздельного или наложенного рассматривания на просвет до четырех фильмов. Интенсивность света раздельно регулируется, и тем самым меняется суммарная плотность и рисунок изображения. Приспособление для рассматривания пары разновременных снимков было сконструировано Ю. Ф. Книжниковым (МГУ).

Внешние условия работы дешифровщика оказывают влияние как на скорость выполнения операций, так и на качество результатов дешифрирования. При работе на оптических приборах особого внимания заслуживает освещение. Оно не должно быть ни избыточным, ни недостаточным, чтобы не возникало напряжения глаз. С освещенностью снимков прямо связана острота зрения. Освещение делится на общее и местное. К сожалению, специальная подсветка существует только у фотограмметрических приборов и интерпретоскопа. При работе со стереоскопами и лупами приходится ограничиваться освещением настольной лампой.

Опытным путем установлено, что при дешифрировании снимков нормальной плотности и контрастности достаточное освещение создает электрическая лампа в 50–70 Вт с отражателем, установленным на расстоянии 25–30 см от снимка. Для лампы из молочного или матового стекла мощность должна быть увеличена почти в 1,5 раза.

Местное освещение должно быть равномерным. Предпочтительно такое освещение, которое не дает тени. Для этого нужно иметь или несколько точечных источников света, или линейный светильник с газосветной трубкой или лампой «дневного света». Оба снимка под стереоскопом должны быть освещены одинаково. Незначительная разность в освещении компенсируется приспособляемостью глаз, но большое различие сказывается на восприятии изображения и точности измерений.

Общая освещенность не должна сильно отличаться от местной. Светильники не должны светить прямо в глаза и ослеплять дешифровщика. Не должно быть темноты вокруг ярко освещенного рабочего места. Источники местного света должны быть размещены так, чтобы прямой свет не попадал в глаза наблюдателя и не ослеплял его, а свет, падающий на снимки и зеркально отражающийся от их поверхности, проходил мимо глаз наблюдателя. Для этого угол падения световых

лучей относительно центра снимка должен быть порядка $30\text{--}40^\circ$. При большем угле падения света в поле зрения дешифровщика попадает отблеск с глянцевой поверхности снимков, при меньшем — станет заметным микрорельеф поверхности снимка, в то же время некоторые участки снимка могут быть затенены. Имеет значение спектральный состав света. Известно, что острота зрения повышается, а утомляемость понижается при работе в зеленом и, особенно, желтом свете (рис. 9.10).

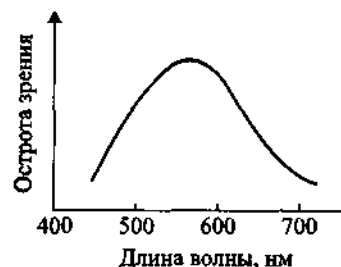


Рис. 9.10. Зависимость остроты зрения от длины волны света

Вероятно, поэтому пока не найдены условия освещения лучше тех, которые создаются обычными лампами накаливания, свет которых отличается желтизной. При дешифрировании цветных снимков источник освещения должен быть нейтральным.

К факторам окружающей среды относятся также температура, влажность, циркуляция воздуха, отсутствие посторонних шумов, удобство рабочего места в целом. Поддержание их на требуемом уровне является организационно-технической задачей. Решение ее пытались и пытаются найти путем создания так называемых рабочих мест дешифровщика — выделенных отгороженных в общем помещении мест, оборудованных специальными столами, набором необходимых инструментов и приборов, надлежащей системой освещения.

9.6. ПРИНЦИПЫ ЭТАЛОННОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ

Камеральное дешифрирование далеко не всегда дает возможность получить всестороннее и безошибочное представление об интересующих исследователя объектах и явлениях. Полевое дешифрирование дает более надежные результаты, но требует больших затрат труда. Достаточно полные и достоверные данные при сравнительно малых

затратах можно получить, сочетая полевое и камеральное дешифрирование. Оно организуется в виде эталонного дешифрирования. *Эталоном* называется образец дешифрирования, созданный на отдельном снимке из многих, покрывающих территорию исследования или картографирования.

Способ камерального дешифрирования с использованием полевых эталонов первоначально был разработан и применялся при топографическом картографировании малообжитых труднодоступных районов страны. Затем он с успехом стал использоваться при всех видах тематического дешифрирования и картографирования.

Способ заключается в том, что в поле с большой полнотой и детальностью дешифрируются отдельные снимки или группы снимков на типичных для данной территории, так называемых ключевых участках. Затем эти снимки, становясь эталонами, используются при камеральном дешифрировании как источник сведений о местных объектах и признаках их дешифрирования. Эталоны сопровождаются описаниями, где указываются особенности местности, дается ее физико-географическая характеристика, отмечаются индивидуальные черты некоторых важных, но плохо распознающихся объектов и явлений.

В практике выработались два подхода к содержанию эталонов. В одном случае под эталоном подразумевается *эталон признаков*. На нем выделяются независимо от величины все участки, которые отличаются друг от друга характером изображения, рисунка. Во избежание перепутывания они обозначаются порядковыми номерами, сличаются с местностью и описываются с указанием, какими из принятых условных знаков или их комбинациями следует показывать содержание контура на карте. При массовых работах такой порядок удобен тем, что исключает разноречивость в результатах дешифрирования и не требует большого числа квалифицированных исполнителей. Предполагается, что полученные эталоны будут осмысливаться и использоваться в камеральных условиях специалистами. Эталон прямых признаков указывает, каким образом признак связан с сущностью объекта дешифрирования.

В других случаях эталонные снимки полностью дешифрируются в принятой системе картографических условных знаков, в которой будет передан окончательный результат. Так получается графическая схема дешифрирования — предкарта, содержание которой генерализованно по всем картографическим правилам. Такие эталоны создаются специалистами; при топографическом картографировании их составляют географы-редакторы.

Способ эталонирования находит применение в одних случаях как рабочий прием, в других как способ систематизации признаков, а в конечном счете как способ описания и изучения географической оболочки Земли или ее частей. Рабочее эталонирование в таком виде, как оно описано выше, применяется главным образом в топографическом картографировании. Снимки для эталонов выбираются из всей их массы, покрывающей картографируемую территорию, и дешифрируются в поле. Затем, в камеральных условиях, опираясь на полевые образцы, дешифрируются все остальные снимки. Таким образом, в процессе создания топографической карты эталоны составляются и используются, возникают и «растворяются» в общем массиве снимков, полностью входя в аэрофототопографическую технологию.

Эталонирование как способ систематизации признаков используется при работе со снимками всех масштабов. Система такого эталонирования может быть построена двояко. Во-первых, возможно эталонирование разнообразных формальных признаков (структуры и текстуры) изображения, рассортированных и объясненных. Во-вторых, возможно эталонирование как способ систематизации ландшафтного многообразия территории. Другими словами, в одном случае мы классифицируем изображение по форме, в другой — по содержанию. Это обуславливает многообразие создаваемых образцов (эталонов).

Выделив по формальным признакам тоновые и контурные структуры и текстуры, получим формальный, или *прямой, эталон — эталон прямых признаков*. Если же определим объекты по их реальному содержанию, получим *целевой эталон*, который может быть общегеографическим или топографическим, а также комплексным или ландшафтным. Каждый из этих эталонов в свою очередь может быть полным или частичным (элементарным) или же частным (тематическим).

Эталоны длительного использования, создаваемые для накопления и упорядочения информации о некоторой территории и о дешифровочных признаках, создаются в виде больших собраний эталонов-информационных систем. Первоначально для этого использовались перфокарты различного вида. Затем им на смену пришли банки данных на компьютерной базе.

Камеральное дешифрирование по эталонам производится способом географической интерполяции и экстраполяции, т.е. путем распространения между эталонами и за пределами эталонов природных закономерностей и связей между изображением и характером объекта, установленных на эталонах.

Интерполяция возможна в тех случаях, когда существует постепен-

ный, плавный переход свойств объектов или характера местности от одного эталонированного участка к другому или от одной точки к другой. Таким способом, например, можно рассчитывать высоты деревьев в горно-таежных районах, где связь высоты древостоя с абсолютными отметками места произрастания хорошо устанавливается.

Экстраполяция имеет место значительно чаще, чем интерполяция. Он заключается в распространении установленных в одном месте свойств объектов на другие участки с аналогичным изображением на снимках. Экстраполяция может производиться (в зависимости от масштаба снимков) в пределах урочища, местности, ландшафта и даже географической зоны, пояса при условии, что сохраняется сходство, аналогичность в изображении однотипных территорий. По мере увеличения дальности экстраполяции уменьшается количество сохраняющихся признаков и увеличивается их обобщенность. При экстраполяции в пределах небольшого контура можно выделить все растительные ассоциации, в пределах ландшафта — растительные формации, при дальней экстраполяции — типы растительности.

Со временем в среде потребителей-географов, геологов, экологов и др. эталонирование стало рассматриваться как способ описания какой-либо территории, хранения информации о ней, а массивы эталонов — как банки информации о состоянии объектов съемки на определенное время, дату.

По мере развития этих идей и принципов в практике возникли еще две ветви использования аэрокосмических эталонов. Задача первой состоит в создании собраний снимков, дающих представление о различных по величине территориях вплоть до Земли в целом. Эталонирование приняло форму альбомов аннотированных снимков, сопровождаемых пояснительным текстом и схемами дешифрирования. Такие альбомы или атласы созданы на территории целых стран, например России, Германии, Франции. Примером тематического атласа может служить «Экологический атлас аэрокосмических снимков», созданный на кафедре картографии МГУ в 1999 г. Так, привычные географические описания стали дополняться, и с большим успехом и пользой, систематизированными собраниями отдешифрированных и аннотированных снимков в виде альбомов и атласов, различающихся тематикой, охватом территории, назначением и др.

Другая ветвь — аэрокосмические атласы и банки эталонов в электронном исполнении с использованием компьютеров. Географическому анализу содержания снимков-эталонов в этом случае предшествует

морфометрическая и фотометрическая обработка снимков.

9.7. ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ СНИМКОВ

По мере того как процесс дешифрирования совершенствуется и рационализируется, он оснащается более сложной техникой, строится по более строгой технологии и вместе с тем становится все менее зависящим от искусства дешифровщика. Можно выделить три ступени развития технологии дешифрирования:

- 1) визуальное дешифрирование, в разной степени оснащенное оптическими и измерительными приборами и инструментами;
- 2) измерительное дешифрирование, частично механизированное и автоматизированное;
- 3) автоматическое дешифрирование, использующее технические системы, осуществляющие поиск и распознавание объектов на снимках.

Визуальное дешифрирование пока занимает господствующее положение. Описывая в предыдущих параграфах технологию и организацию полевого и камерального дешифрирования, мы фактически знакомимся с визуальным дешифрированием снимков. Особенностью его является то, что обнаружение и распознавание явлений и объектов на снимках, а также выводы целиком основываются на суждении лиц, производящих дешифрирование. Полученные таким путем данные зависят от квалификации дешифровщика, его общей и профессиональной подготовки. Такой метод субъективен, и поэтому результаты его недостаточно надежны. Использование при визуальном дешифрировании увеличительных, стереоскопических и измерительных приборов не меняет существа метода. Численные показатели уточняют и дополняют наше представление об объекте исследования, но распознавание и интерпретация распознанного происходит в результате логических умозаключений дешифровщика.

Измерительное дешифрирование снимков основано на использовании точных объективных показаний приборов, которые сразу же или после статистической обработки характеризуют на основе полученных параметров то или иное свойство объектов или явлений. Таким путем получают характеристики — признаки, в значительной степени освобожденные от личного суждения дешифровщика. Измерительное дешифрирование позволяет также распознавать и характеризовать объекты, о которых невозможно судить визуально из-за ненадежности

прямых признаков.

Суть измерительного дешифрирования состоит в формализации прямых элементарных и прямых ландшафтных признаков и нахождении количественных связей между параметрами-индикаторами и индицируемыми явлениями и объектами. Таким образом, измерительное дешифрирование распространяется и на прямое распознавание, и на косвенное дешифрирование.

Относительно просто поддаются количественной оценке прямые признаки дешифрирования. Поэтому процесс непосредственного распознавания единичных объектов может быть автоматизирован прежде всего. Формализации и математическому описанию могут быть подвергнуты прямые ландшафтные признаки. Это задача более сложная, чем предыдущая, хотя и посильная, так как может быть решена на базе уже разработанных технологий компьютерной обработки снимков.

Измерительное дешифрирование осуществляется двумя путями. Если дешифрируются два и более однотипных объектов, то один или несколько из них играют роль прототипов, по которым устанавливаются количественные параметры, характеризующие этот класс объектов. Другие объекты дешифрируются по аналогии, степень которой может быть установлена либо путем визуального сравнения, либо вычислена. Параметры-эталоны могут быть заданы в графической или аналитической форме. Существенно, что при этом изображения объектов в общем случае не будут полностью совпадать с эталонами из-за того, что сами объекты по разным причинам подвержены формальным изменениям во времени и от места к месту.

Измерительное дешифрирование может также строиться на корреляционных связях, установленных в количественной форме. Для количественной оценки зависимостей между различными свойствами объектов или компонентами природных комплексов используются методы математической статистики.

Количественная связь двух явлений характеризуется коэффициентом корреляции, который вычисляется по формуле

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n\sigma_x\sigma_y},$$

где x_i и y_i — конкретные значения исследуемых явлений в некоторой точке i ; \bar{x} и \bar{y} — средние значения этих явлений, вычисляемые по фор-

мулам

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i.$$

Здесь n — общее число точек, в которых произведены измерения; σ_x и σ_y — дисперсии значений измеренных величин, вычисляемые по формулам

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}, \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}}.$$

При измерительном дешифрировании дешифровщик не отстраняется от процесса дешифрирования, но некоторые задачи, ранее выполняемые визуально и умозрительно, теперь решаются путем расчетов. Таким образом, в цепи дешифровочных операций могут быть звенья, построенные по методике визуального и измерительного дешифрирования. Формализовав данные и проделав расчетные операции или поручив это компьютеру, дешифровщик должен еще деформализовать результат, найти в нем смысл, содержание на уровне, принятом в той географической или иной науке, ради которых и производится дешифрирование.

Измерительное дешифрирование использует геометрические и фотометрические свойства аэрокосмического изображения. В соответствии с этим различаются морфометрический и фотометрический способы дешифрирования.

Морфометрический анализ состоит в количественном изучении различных по сложности форм, структур и текстур изображения земных объектов и комплексов.

Методы морфометрического анализа снимков нашли наибольшее применение при дешифрировании растительности, вероятно потому, что она играет важную роль как индикатор. В частности, многократно устанавливались корреляционные связи между диаметрами крон, диаметрами стволов и высотами деревьев. Установленные для одних географических районов, эти связи могут служить основой для распознавания пород леса в аналогичных природных условиях.

Основой для морфометрического анализа изображения могут служить: формы контуров и их изрезанность, размеры и соотношения размеров отдельных элементов структуры, их площади и соотношения площадей, ориентирование элементов текстуры, а также встреча-

емость или густота выделенных объектов, дисперсия или рассеяние отдельных элементов в пределах контура.

Результаты измерений сводятся в таблицы и затем обрабатываются по правилам статистики, строятся гистограммы и на их основе получаются кривые частот.

Выводы из расчетов имеют индикационное значение, так как связывают одни объекты с другими, например растительный покров с почвами и грунтами (рис. 9.11), гидрографическую сеть с рельефом и геологией и т. д.

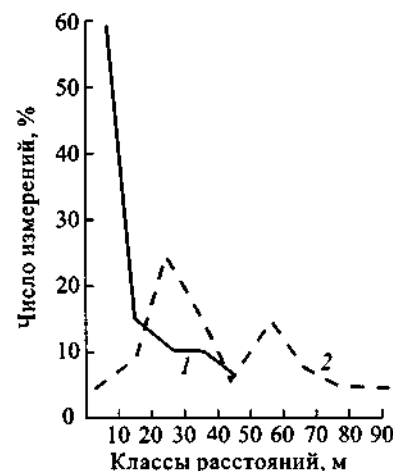


Рис. 9.11 Распределение фишашки на разных грунтах (по С. В. Викторову) 1 — на известняках, 2 — на кремнистых сланцах

Интерес представляет морфометрический анализ рисунка изображения, в результате которого он может быть описан количественно. Для этого было предложено использовать метод вращающихся траверс или метод трансект. Суть способа заключается в том, что на изображение накладывается палетка с рядом параллельных линий или линий, исходящих радиусами из центра снимка. Вдоль линий делаются замеры отрезков, приходящихся на различные морфологические единицы. Измерения производятся неоднократно, в разных направлениях. Данные замеров статистически обрабатываются, строятся кривые встречаемости. Характер кривых и статистические характеристики определенным образом связываются с морфологией природного комплекса и могут служить его количественными признаками.

Фотометрическое дешифрирование состоит в формальном анализе тоновой структуры изображения. Вообще говоря, плотность изображения зависит от множества факторов и поэтому прямая связь тона

изображения с характером объекта практически не может быть использована. Однако соотношения тонов на снимках, полученных в одной и той же зоне спектра, постоянны. Так, например, на черно-белых панхроматических фотоснимках песчаные и каменистые грунты всегда светлее лугов, темнохвойные леса темнее лиственных и т. д. Однако для надежного дешифрирования этого недостаточно. Результат становится значительно достовернее, когда сравниваются соотношения тонов или цветов на снимках, полученных одновременно в разных зонах многоспектральными камерами, например МКФ-6.

Само сравнение может быть проделано визуально. Тогда число каналов съемки не должно превышать 4–6, а контраст тонов или цветов должен быть большим, хорошо заметным. Визуальную оценку тонов можно заменить измерениями плотности денситометром, но сортировку производить вручную, строить таблицы сочетаний тонов и окончательный результат получать визуально. Однако наиболее надежный результат получается при автоматической сортировке тональных характеристик, число которых может быть при этом существенно увеличено.

Таким образом можно судить об объекте, используя в качестве признака «игру» тонов по яркости, получаемой в разных зонах спектра. Чем больший набор снимков, полученных в разных зонах спектра, тем надежнее распознавание. Особым приемом точечной фотометрии является спектрофотометрия. Спектральная характеристика объекта является его «портретом», которым можно пользоваться как признаком, обладающим большой достоверностью. Этот прием позволяет минимизировать фотометрический анализ аэрокосмического изображения; снимок делается только для привязки пунктов спектрометрирования и результатов дешифрирования.

Так называемое текстурное фотометрическое дешифрирование снимков производится, когда распознаванию подвергаются объекты значительной протяженности и площади, но в этих пределах монотипные. Примером таких основных объектов является растительный и почвенный покров и т. п. Фотометрически регистрируется распределение плотности изображения по полю изображения сплошь или по избранным профилям. Распределение плотностей отражает структуру и текстуру изображения, которая корреляционно связана с рядом свойств объектов. Микрорисунок изображения образуется либо попеременным чередованием разнородных элементов, либо микрорельефом, либо тем и другим вместе.

Таким образом, со снимков можно снять как точечные фотометри-

ческие характеристики, используя, например, прибор денситометр для измерения плотности фотоизображения, так и линейные микрофотометрические характеристики, производя измерения с помощью, например, микрофотометра МФ-8, получая регистрируемую в виде кривой хода плотности по избранному направлению. В результате обработки можно получить индикатрису рассеяния для фотометрических характеристик, таких как длина волны, градиент плотности, асимметрия и амплитуда колебаний. Индикатриссы рассеяния являются отличительными признаками дешифрируемого объекта.

9.8. ОБЪЕКТИВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДЕШИФРИРОВАНИЯ

Один из путей объективизации дешифрирования — внедрение математической логики в процесс распознавания. Обычно дешифровщик использует стихийно сложившиеся навыки оперирования различными формами мышления и видами умозаключений. Он строит цепи рассуждений, не задумываясь над доказательством правильности распознавания и интерпретации. При этом не всегда выбирается лучший путь, избирается не самая надежная логическая схема. К тому же многозначность признаков запутывает ситуацию, порождая ошибки в выводах.

Логические рассуждения как звенья процесса дешифрирования могут быть описаны с помощью формализованного языка математической логики. Формальные системы такого рода, называемые исчислением логического вывода, достаточно полно передают логическую структуру рассуждений. Применение аппарата математической логики при дешифрировании снимков позволяет формально правильно строить логические рассуждения, в известной степени освобождая выводы от психологических ошибок и тем самым делая дешифрирование более объективным. Математическая логика позволяет выявить связи признаков с объектами, когда эти признаки заданы неявно, упорядочить и упростить связи прямых и косвенных признаков. Необходимость в такого рода операциях возникает при выявлении и отборе обоснованных общих признаков из всей совокупности частных признаков. Путем решения логических задач возможна проверка внутренней непротиворечивости таблиц признаков, используемых при дешифрировании. Такие таблицы нередко представляют собой лишь протоколы наблюдений. Они либо недостаточны в перечне признаков, либо слишком дробны в перечне объектов и поэтому не обеспечивают 100% распознаваемости.

Упорядоченные системы «признаки-объекты» позволяют решение логических задач передать компьютеру. Это приближает нас к решению проблемы автоматизации распознавания. Наличие непротиворечивых таблиц признаков дешифрирования позволяет также упорядочить обучение навыкам распознавания, построить обучение дешифрированию по правилам программированного обучения.

Таким образом, использование математической логики позволяет совершенствовать процесс дешифрирования в следующих направлениях:

- 1) объективизация логических выводов;
- 2) упорядочивание системы дешифровочных признаков;
- 3) автоматизация процесса распознавания;
- 4) механизация привития навыков распознавания при обучении дешифрированию снимков.

Распознавание начинается со сравнения между собой признаков, полученных в конкретном случае, с признаками, накопленными в результате всего предшествовавшего опыта. Всегда находятся объекты и явления, которые распознаются практически безошибочно. Наблюдения показывают, что в среднем 20% результатов дешифрирования освобождены от субъективного влияния дешифровщика. Когда такие возможности исчерпаны, распознавание делается с некоторой долей вероятности.

Формализации наиболее просто поддается прямое распознавание, которое сравнительно легко укладывается в рамки математической логики — *двузначной логики* (алгебры высказываний, или *булевой алгебры*). В математической логике двузначных отношений все операции совершаются только с утвердительными высказываниями либо точно истинными, либо ложными. Поэтому суждение о каждом признаке (или объекте) или связи между ними всегда категорично: или «да», или «нет».

Характерной особенностью математической логики является использование математического языка символов и формул, имитирующих структуру логических рассуждений. Связь объектов и явлений выражается в форме высказываний, простейшие из которых образуются из символов объектов и признаков ($A, B, C \dots$) путем соединения их особыми связками или операторами, которыми передаются существующие между ними логические отношения или логические операции.

Выражение, записанное в символах и связках математической логики, называется формулой алгебры высказываний. Особую роль в

$\bar{\bar{A}} = A$	Закон двойного отрицания
$A + B = B + A$	Закон коммутативности дизъюнкции
$AB = BA$	Закон коммутативности конъюнкции
$(A + B) + C = A + (B + C)$	Закон ассоциативности дизъюнкции
$(AB)C = A(BC)$	Закон ассоциативности конъюнкции
$(A + B)C = AC + BC$	Закон дистрибутивности конъюнкции относительно дизъюнкции
$AB + C = (A + C)(B + C)$	Закон дистрибутивности дизъюнкции относительно конъюнкции
$A + A = A, AA = A$	Закон идемпотентности
$A + 0 = A, A + 1 = 1;$	
$A \cdot 0 = 0, A \cdot 1 = A$	
$A + \bar{A} = 1$	Закон исключения третьего
$A\bar{A} = 0$	Закон противоречия
$\overline{A + B} = \bar{A}\bar{B}$	Законы де Моргана
$\overline{AB} = \bar{A} + \bar{B}$	
$(A \rightarrow B)(B \rightarrow C)(A \rightarrow C)$	Закон силлогизма

алгебре высказываний играют тождественно-истинные формулы, которые выражают законы логики на языке этой алгебры и служат основой для формальных логических выводов. Перечислим основные тождественно-истинные формулы.

Сложные логические высказывания, записанные в виде формул, позволяют производить с ними алгебраические действия, хотя и несколько отличные от обычной алгебры. Операция упрощения сложных высказываний, называемая *минимизацией*, приводит от сложного и запутанного высказывания к краткой и понятной форме. Существуют различные способы минимизации высказываний, например операции поглощения:

$$A + AB = A; \quad A(A + B) = A$$

и операции склеивания:

$$AB + A\bar{B} = A; \quad (A + B)(A + \bar{B}) = A.$$

Одним из способов упрощения является запись формул в дизъюнктивной нормальной форме (ДНФ), например:

$$x = \bar{A} + \overline{AB + \bar{B}} = \bar{A} + (\bar{A} + \bar{B})B = \bar{A},$$

$$x = \overline{A + \bar{A}\bar{B}} + A = \overline{A + A + \bar{B}} + A = \bar{A}\bar{B} + A.$$

Для записи сложных высказываний имеется еще и совершенная дизъюнктивная нормальная форма (СНДФ), которая от ДНФ отли-

чается тем, что каждое слагаемое в ней содержит все простые высказывания либо их отрицания. Например:

$$x = A\bar{B} + \bar{A}B,$$

$$x = \bar{A}B\bar{C} + ABC + A\bar{B}C.$$

Используя таблицу истинности импликации, эту логическую функцию можно записать в СДНФ:

$$A \rightarrow B = AB + \bar{A}B + \bar{A}\bar{B}.$$

Сложное высказывание можно упростить:

$$A \rightarrow B = AB + \bar{A}(B + \bar{B}) = AB + \bar{A} = (A + \bar{A})(B + \bar{A}) = \bar{A} + B,$$

или

$$A \rightarrow B = \bar{A} + B.$$

Двухзначная булева алгебра не исчерпывает все варианты математической логики, но является наиболее простой и, что немаловажно, сравнительно легко реализуется при моделировании логического процесса в форме электрических цепей или на электронных вычислительных машинах.

Более сложная модальная логика при построении умозаключений использует, помимо обычных связей, модальные операторы «необходимость» и «возможность». Это позволяет учитывать некоторые смысловые характеристики высказываний. «Возможности», которые рассматриваются в модальной логике, различаются качественно и количественно. В последнем случае возможность событий (распознавания) может рассматриваться как его вероятность. Таким образом, теория вероятности в ее простейшей форме представляет собой вариант многозначной логики, в которой учитывается вероятность каждого события.

Логико-вероятностный анализ процесса дешифрирования составляет важную проблему, но не снимает задачу изучения процесса дешифрирования способами логики высказываний, так как это дает возможность на сравнительно простом материале подойти к решению логических задач более сложных, оперирующих большим числом сложных логических отношений и излагаемых более сложным математическим языком.

Слабое место формальных логических задач — замена реально существующих в природе корреляционных связей функциональными.

Кроме того, формальная логика не описывает полностью познавательный процесс. Процесс дешифрирования в целом и распознавание как его существенная часть требуют от дешифровщика не только логической, но и эвристической мыслительной деятельности. Формальная логика отвлекается от содержания мыслей и имеет дело только с их структурой. Поэтому получаемый методами математической логики вывод истинен настолько, насколько истинны посылки.

Тем не менее возникает немало задач, решение которых, даже формальное, имеет значение, так как избавляет результаты от логических ошибок. Можно назвать три основные задачи, решение которых целесообразно производить приемами математической логики, — это, во-первых, упорядочение связи признаков с объектами; во-вторых, распознавание объектов из сравнения полученных и известных признаков; в-третьих, проверка сложных логических выводов при косвенном распознавании объектов.

Исходным материалом для построения логических высказываний служат связи признаков с объектами, которые должны быть получены из непосредственных наблюдений и не могут быть выведены логическим путем. С этой точки зрения логические построения не приносят новых знаний, но упорядочивают, выявляют скрытые связи объектов со свойствами, принятыми за признаки, или одних объектов с другими, принятыми за индикаторы.

Все системы дешифровочных признаков, составляемые для определенных территорий и объектов, должны быть внутренне непротиворечивы, чтобы по ним можно было действительно распознать объекты. Для этого первичные непосредственные наблюдения связей объектов с признаками необходимо упорядочивать таким образом, чтобы сводные таблицы дешифровочных признаков обеспечивали логическую выводимость (распознаваемость) всех перечисленных в них объектов. При большом числе разнообразных объектов и признаков эта задача проще и безошибочнее решается математически.

В качестве примера решим следующую задачу. Имеем сложное высказывание, полученное в результате дешифрирования снимков: «Грунтовая дорога может быть разъезженной (A), иметь извилистые очертания (C) и объезды (D). Но может быть и неразъезженной (\bar{A}), с извилистыми очертаниями (C), с объездами (D). А также принимать в себя дороги (B), быть неразъезженной (\bar{A}), иметь извилистые очертания (C), но не иметь объезда (\bar{D}), или может быть неразъезженной (\bar{A}), иметь извилистые очертания (C) и объезды (D) и принимать в

себя дороги (B). Формула этого высказывания будет иметь вид

$$x_1 = ACD + \bar{A}CD + \bar{A}BC\bar{D} + \bar{A}BCD.$$

Упростим это выражение, используя законы алгебры высказываний:

$$\begin{aligned} x_1 &= (ACD + \bar{A}CD) + (\bar{A}BC\bar{D} + \bar{A}BCD) = \\ &= CD(A + \bar{A}) + \bar{A}BC(\bar{D} + D) = CD + \bar{A}BC. \end{aligned}$$

и окончательно

$$x_1 = C(D + \bar{A}B).$$

Прочтем это новое высказывание: «Грунтовая дорога имеет извилистые очертания и может иметь объезды или быть неразъезженной и принимать в себя другие дороги».

Данный пример — лишь условная задача. Однако такого рода набор высказываний, более запутанный и сложный, может быть результатом, например, полевого дешифрирования. В конце концов появится необходимость упорядочить связь признаков с объектами и выявить те признаки, которые подтверждаются логическими расчетами. Прямое или косвенное распознавание объектов по ранее установленным признакам, сведенным в сводки, таблицы, перфокартные системы, в банк и память компьютеров, также может быть логически рассчитано. В качестве примера решим такую задачу.

Дешифрируются грунты моренной переработанной эрозией возвышенной равнины лесной зоны, для которой характерны ледниковые и элювиальные отложения. Сводная таблица признаков составлена ранее. На ряде аэроснимков были отдешифрированы: растительность, формы рельефа, хозяйственное освоение территории, характер грунтовых дорог. Было установлено следующее:

1. Грунтовые дороги изображаются светлыми четко очерченными полосами, что характерно для валунных суглинков и супесей (A), лессовидных супесей и суглинков (B), лессовидных супесей и суглинков на карстующихся известняках и гипсах (C), суглинков щебенистых на известняках (D).

2. Крупные массивы пашен имеют ровный светлый тон изображения, нарушаемый потемнениями в местах мелких логов и понижений, видна темная штриховка огрехов в местах скопления валунов. Эти признаки характеризуют валунные суглинки и супеси (A), лессовидные супеси и суглинки на карстующихся известняках и гипсах (C), лессовидные супеси и суглинки (B).

3. Склоны холмов и холмистых гряд расчленены сетью оврагов и балок. Грунтами здесь могут быть валунные суглинки и супеси (A) или суглинки щебенистые на известняках (D).

4. Небольшие массивы елово-широколиственных лесов характерны для лессовидных супесей и суглинков (B) и валунных суглинков и супесей (A).

В соответствии с этими высказываниями составим и решим логические уравнения. Первое умозаключение является сложным высказыванием, в котором либо $A = 1$, либо $B = 1$, либо $C = 1$, либо $D = 1$. Эту мысль можно выразить формулой

$$A\bar{B}\bar{C}\bar{D} + \bar{A}B\bar{C}\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}D = 1.$$

Таким же образом запишем три других высказывания

$$A\bar{B}\bar{C} + \bar{A}B\bar{C} + \bar{A}\bar{B}C = 1,$$

$$\bar{A}D + A\bar{D} = 1,$$

$$\bar{A}B + A\bar{B} = 1.$$

Образум из этих четырех уравнений логическое произведение

$$\begin{aligned} (A\bar{B}\bar{C}\bar{D} + \bar{A}B\bar{C}\bar{D} + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}D) \\ (\bar{A}\bar{B}\bar{C} + \bar{A}B\bar{C} + \bar{A}\bar{B}C)(\bar{A}D + A\bar{D})(\bar{A}B + A\bar{B}) = 1. \end{aligned}$$

Умножим сначала четвертую скобку на третью:

$$A\bar{D}A\bar{B} + \bar{A}DA\bar{B} + A\bar{D}\bar{A}B + \bar{A}D\bar{A}B = 1.$$

Второе и третье слагаемые ложны, так как $A\bar{A} = 0$. Исключив эти высказывания, получим, учитывая, что $AA = A$ и $\bar{A}\bar{A} = \bar{A}$:

$$A\bar{B}\bar{D} + \bar{A}DB = 1$$

Перемножив все скобки и исключив ложные высказывания, в конце получим

$$A\bar{B}\bar{C}\bar{D} = 1,$$

т. е. $A = 1$.

Следовательно, сочетание признаков на дешифрируемых снимках характеризует валунные суглинки и супеси. Если же после перемножения получилось бы, что все слагаемые равны 0, произведение оказалось бы ложным. Это значило бы, что сочетание признаков не позволяет распознать грунты на данном участке.

Опознавая объект на снимках, дешифровщик строит цепочку силлогизмов. Каждый представляет собой умозаключение, в котором из двух связанных истинных суждений получается новое суждение или вывод. Характерной формой силлогизма является, например, следующее высказывание.

«Если на снимках некоторая местность изображена ячеистым рисунком светлого тона (A), то можно судить, что гидрографическая сеть на этой местности отсутствует (B). Это позволяет считать, что область бессточная (C) и расположена в котловине (D). В этом случае на территории распространен солончак (E). Следовательно, если для местности характерны солончаки, они изображаются на снимках светлым ячеистым рисунком»

Несложно понять, что этот вывод формально верен для определенных территорий. Но можно проверить этот силлогизм методом алгебры высказываний. Между высказываниями A и B , B и C и так далее существует последовательная связь, которая называется отношением импликации, что позволяет написать

$$(A \rightarrow B)(B \rightarrow C)(C \rightarrow D)(D \rightarrow E)(A \rightarrow E).$$

Если эта цепочка истинна, то ее значение равно единице. Обозначим это выражение через X и упростим его, используя правила алгебры высказываний:

$$X = (A \rightarrow B)(B \rightarrow C)(C \rightarrow D)(D \rightarrow E) \rightarrow (A \rightarrow E),$$

или

$$\begin{aligned} X &= \overline{(A+B)(B+C)(C+D)(D+E)} + (\bar{A} + E) = \\ &= \overline{AB + BC + CD + DE} + \bar{A} + E = \\ &= \bar{A} + (\bar{A}\bar{B} + \bar{A}B) + \bar{B}\bar{C} + \bar{C}\bar{D} + (\bar{D}\bar{E} + DE) + E = \\ &= \bar{A} + \bar{B} + (\bar{B}\bar{C} + B\bar{C}) + (\bar{C}\bar{D} + CD) + D + E = \\ &= \bar{A} + \bar{B} + \bar{C} + C + D + E = 1. \end{aligned}$$

Отсюда

$$X = (A \rightarrow B)(B \rightarrow C)(C \rightarrow D)(D \rightarrow E) = 1.$$

Значит, вывод по форме сделан правильно. Это было очевидно и без расчетов. Но цепочки импликации могут иметь большую длину и соединяться в сложные структуры, создавая условия, при которых возможны логические ошибки. Однако ручной расчет истинности вывода громоздок. Поэтому вычисления следует поручить компьютеру.

9.9. ПУТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЕШИФРИРОВАНИЯ СНИМКОВ

Проблема автоматизации процесса дешифрирования стала предметом повышенного интереса примерно с середины прошедшего века. Как оказалось, в решении этой задачи должны участвовать специалисты в различных отраслях знаний, от техников и специалистов в информационной технологии до физиологов и психологов.

По мере того как процесс дешифрирования совершенствуется и рационализируется, он оснащается более сложной техникой, строится по более строгой технологии и вместе с тем становится все менее зависящим от искусства дешифровщика.

Объективизация результатов дешифрирования предполагает, во-первых, рационализацию технологии дешифрирования; во-вторых, упорядочение всех полученных к данному моменту признаков дешифрирования с тем, чтобы накопленный опыт не пропадал. Эта задача требует кропотливого сбора признаков и хранения их в компьютерных банках данных. Интересы дальнейшего использования требуют, чтобы сбор данных выполнялся в рамках единых систем понятий — дескрипторов.

В развитии автоматизированного дешифрирования наметилось два пути: 1) разработка систем, проделывающих прямое распознавание объекта путем сличения с эталонным образцом, заданным в фотографической, графической, цифровой форме по запрограммированным признакам и путем моделирования логического процесса распознавания на самообучающихся машинах; 2) распознавание образов по набору параметров, численно характеризующих определенный объект, использование корреляционных связей между признаками (индикаторами) и свойствами объектов.

Автоматизация процесса дешифрирования является задачей преимущественно технической. Она более или менее успешно решена применительно к распознаванию достаточно простых зрительных образов, некоторых геометрических фигур, реже, рисунков. Способность к целостному восприятию сложных предметов все еще остается привилегией человеческого мозга. Высказывались соображения о тщетности и бесперспективности попыток создать распознающую машину для сплошного дешифрирования снимков. Действительно, остается в рамках фантазии дешифровочная машина, в которую, с одной стороны, вводится аэрокосмическое изображение, с другой — выдается готовая карта.

Однако если сплошной и полный анализ изображения пока недоступен машине, то существует достаточное число частных задач, решение которых может быть в той или иной степени автоматизировано. Это относится, прежде всего, к поискам и обнаружению одного или нескольких однотипных объектов в информационном поле снимка. Следует заметить, что поиск и расшифровка естественных контуров затруднены непостоянством прямых признаков. Несколько большей инвариантностью (неизменностью) обладают антропогенные объекты, простота форм упрощает их обнаружение и распознавание.

Сравнительный анализ устройств автоматического распознавания и возможностей дешифровщиков показал, что в процессе дешифрирования автомат и человек выполняют одни и те же функции, но проявляют при этом различные способности (табл. 9.3).

Таблица 9.3. Сравнение функций и способностей дешифровщика и автомата

Функция	Характеристика дешифровщика	Характеристика автомата
Обнаружение	Зрительное восприятие только в видимой части спектра	Широкая шкала восприятия
	Чувствительность органов зрения хорошая	Чувствительность приемников очень хорошая
	Пороговая величина различения мала	Пороговая величина различения очень мала
	Реакция относительно медленная, очень зависящая от состояния дешифровщика	Реакция быстрая и стабильная
	Легко осуществляет фильтрацию. Одно и то же изображение разлагает на составные части по-разному при изменении программы	Фильтрацию осуществляет только в заданных пределах
Опознавание	Константность восприятия форм (узнаваемость) очень высокая	Константность восприятия очень невелика
	Запоминает в долговременной памяти большое число довольно сложных признаков. Емкость оперативной памяти мала	Может запоминать довольно сложные признаки в количестве, определяемом объемом памяти
	Деформация и ослабление признаков в памяти со временем	Неизменность признаков, заложенных в память
	Надежность распознавания подвержена колебаниям во времени	Надежность высокая и устойчивая
	Воспринимает глубину пространства и объем	Восприятие глубины пространства и объема затруднено

Интерпретация	Большая гибкость в программировании и перепрограммировании	Гибкость перепрограммирования мала
	Большая независимость и способность к саморегулированию, самообучению и накоплению опыта	Малая способность к саморегулированию. Возможности самообучения ограничены
	Продолжительность работы без перерывов мала	Продолжительность работы без перерывов неограничена
	Способен модифицировать системы регистрации в соответствии с получаемой информацией	К изменению системы регистрации не способен
	Способен работать в непредвиденных ситуациях	Плохо работает в непредвиденных ситуациях
	Логическое построение (рассуждения) неточные, но может делать обобщения	Логические построения очень точные, но не может делать обобщений

Всякий распознающий автомат осуществляет фильтрацию информации столько в узких заданных пределах. Обилие информации и неповторимость признаков затрудняют работу распознающего автомата. Именно поэтому возникли и стали развиваться различные способы предварительной фильтрации и иных способов преобразования аэрокосмических снимков.

Автоматизировать процесс дешифрирования снимков — значит построить автомат, способный выделять на изображении и классифицировать отдельные объекты по одному или ряду признаков. Сама задача дешифрирования может быть сформулирована двояким образом. Это либо поиск и обнаружение среди множества других элементов изображения предмета нашего интереса, либо сплошное, например топографическое, дешифрирование содержания снимка. Эта, вторая задача, в автоматическом режиме практически неразрешима. По крайней мере в настоящее время наши реальные возможности значительно меньше. Именно поэтому, чтобы облегчить процесс обнаружения и распознавания, было проделано много опытных работ по фильтрации и преобразованию аэрокосмических снимков. Однако трудности на пути развития автоматизированного дешифрирования остаются. Мы не можем не только поручить автомату расшифровку сразу множества разнообразных объектов, но и оперировать одновременно множеством различных по сути признаков. К тому же, как показывает опыт, различна «пригодность» признаков для автоматизации с их помощью процесса распознавания.

Тем не менее продолжают поиски путей автоматизации процесса дешифрирования снимков. Отмечается, что реализованы лишь некоторые частные методы, например, в целях обработки метеорологической информации при нефанализе (изучении облачного покрова Земли) и при определении таксационных характеристик лесных массивов. Известно, что успешно осуществляется автоматизированная классификация ледового покрова арктических морей по спутниковым радиолокационным снимкам. В научной литературе сообщалось об удачном опыте автоматического дешифрирования растительного покрова по ограниченному перечню категорий (леса, кустарники, пастбища, пахотные земли). Описывалась также автоматизированная система обнаружения динамики развития объектов наблюдения и систематических изменений в природе. Для этого изображения на двух разновременных снимках квантуется на дискретные элементы. Снимки сравниваются попарно, находятся векторы изменений и разности положений, что позволяет получить ответ на вопросы: что, куда, насколько и с какой скоростью переместилось или изменилось.

При любом автоматизированном дешифрировании используется известная логическая схема: собираются и классифицируются признаки распознаваемого объекта, которые сравниваются с накопленными и на основании подобия относят новый объект к определенному классу.

Двух совершенно одинаковых объектов в природе не встречается. Поэтому всегда наблюдается неполное совпадение признаков. В визуальном дешифрировании решение вопроса о том, к какому классу относится объект (или что это за объект), целиком относится к компетенции дешифровщика. В автоматизированных системах степень аналогичности признаков (или объекта и эталона) устанавливается автоматом и он же отвечает на вопрос, что это за объект. Эта общая схема может быть воплощена в различных конкретных технологиях.

9.10. МЕТОДИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПОДГОТОВКИ ДЕШИФРОВЩИКА

Одним из факторов, от которых зависит надежность получаемых по аэрокосмическим снимкам сведений, является обученность специалистов. Под этим понимается, во-первых, наличие общих знаний о методе; во-вторых, владение способами и средствами работы с материалами съемок; в-третьих, общегеографические знания и знакомство с конкретной территорией, на которую сделана съемка.

В отличие от полевого дешифрирования, когда снимки главным образом дополняют информацию, получаемую непосредственно, при камеральном дешифрировании снимки заменяют натуру.

Поэтому результаты дешифрирования зависят как от наличия навыков, опыта работы с материалами дистанционных съемок, так и от профессиональных знаний в конкретной области науки и практики, ради решения проблем которой продлевается дешифрирование. Многолетний опыт показывает, что специалисты должны быть обучены в такой мере, чтобы они могли решать типичные задачи в области своей деятельности, получать надежные результаты и совершенствоваться во владении методами.

Представить себе специалиста по дешифрированию снимков «вообще», вне определенной научной дисциплины очень трудно. Для того чтобы дешифрирование превратилось из разглядывания снимков в исследование изобразившегося объекта, нужно задаться определенной целью, вытекающей из задач данной науки или практики. Поэтому образование специалистов складывается из знаний и умений, как в области аэрокосмических методов, так и в отрасли науки, которую он представляет.

Снимки могут и не дать все, что требуется для решения поставленной задачи. Но то, что они могут дать, должно быть получено полностью и достоверно. Этим, собственно, и определяется требуемый уровень обучения, как, впрочем, и польза от метода.

В процессе обучения должны быть соблюдены *основные принципы дидактики: научность, последовательность, систематичность, наглядность* излагаемого материала, доступность его слушателям, связь теории с практикой. Научный подход должен присутствовать как в изложении основ самого метода, так и в организации процесса обучения. Это обеспечивает логичность и обоснованность выводов, максимальное использование современных средств извлечения и обработки информации и т. д.

В прохождении курсов должна предусматриваться определенная последовательность, разумная очередность этапов и актов обучения, которую можно свести к следующим основным правилам.

1. Последовательный переход от общего знакомства с методом к приобретению специальных знаний и практических навыков и затем к свободному использованию метода при решении различных исследовательских и инженерных задач. Это достигается, во-первых, этапностью обучения от общего к частному: введение — общая часть — специальная часть; во-вторых, последовательным переходом от тео-

рии к практике: сначала к полевой практике, затем к камеральной; в-третьих, последовательностью в изложении и практическом освоении технологии работы со снимками, в частности для картографов: теория — полевая топографическая съемка и дешифрирование — камеральное дешифрирование и составление топографических карт универсальными методами — тематическое картографирование по космическим снимкам.

2. Последовательный переход от крупномасштабных аэроснимков к мелкомасштабным, от аэроснимков к космическим снимкам.

3. Последовательный переход от пассивного ознакомления со снимками на лекциях к активному освоению методики дешифрирования. Сначала снимки используются как иллюстрации, затем организуется просмотр серий снимков, подобранных по различным темам, после этого — самостоятельная работа со снимками. Для повышения надежности дешифрирования важно, чтобы отдельные снимки и фотосхемы использовались при прохождении всех географических курсов наряду с картами.

4. Переход от непосредственного распознавания отдельных объектов на снимках к косвенному дешифрированию, основанному на знании разнообразных природных связей и зависимостей; от прямого распознавания к анализу содержания аэрокосмического изображения. Такой порядок обеспечивается, в частности, тем, что сначала делается общегеографическое (топографическое) дешифрирование, а затем тематическое дешифрирование снимков.

5. Переход от знакомства с геометрией отдельных фотоснимков к стереометрии, от простых измерительных инструментов к сложным приборам для обработки снимков. На этом этапе происходит ответвление специального курса фотограмметрии и аэрофототопографии, что составляет часть подготовки картографов.

6. Постепенное усложнение приобретаемых навыков, что достигается переходом от хорошо известной в натуре территории (например, учебного полигона) к территории непосредственно неизвестной, но с которой дешифровщик знаком по литературным источникам, картам и эталонным образцам.

7. Последовательный переход от визуального дешифрирования к измерительному, от качественных характеристик дешифрируемых объектов и явлений к количественным характеристикам, а затем к истолкованию результатов на уровне и в терминах и понятиях той отрасли науки или производства, для которой используется метод.

8. Увязка основ метода с другими дисциплинами, входящими в

учебные планы, а также со всей системой теоретических и практических знаний, которыми обладают обучающиеся.

С какой бы целью ни использовались аэрокосмические методы, все дешифрируемые объекты и явления рассматриваются в тесной связи с природной средой. И вообще, сколько-нибудь глубокий анализ содержания снимков требует привлечения возможно большего числа разнообразных географических закономерностей. Поэтому обучение аэрокосмическим методам должно сочетаться с прохождением общих и частных географических дисциплин.

Одним из основных путей рационализации системы обучения аэрокосмическим методам является переход к оптимальному управлению процессом привития навыков дешифрирования снимков. Профессиональное требование к дешифровщикам — логично мыслить, сознательно и связано строить цепь доказательств или даже просто узнавать известные объекты — делает необходимыми специальные тренировки. Процесс обучения навыкам дешифрирования может быть построен как управляемая система самостоятельной работы в соответствии со следующими основными принципами так называемого программного обучения:

- 1) определяются и анализируются процесс и навыки, которым собираются обучать;
- 2) определяется способ и последовательность предъявления материала учащимся;
- 3) процесс обучения разбивается на этапы и кадры. Каждый кадр содержит некоторое законченное задание, выполнение которого контролируется. Для составления задач обучения и контроля приобретенных навыков необходимо иметь, во-первых, подходящие аэрокосмические снимки, а во-вторых, непротиворечивые таблицы признаков дешифрирования;
- 4) правильность ответа немедленно подтверждается.

Эти принципы могут быть реализованы в форме обучающих и контролирующих тренажеров.

9.11. НАДЕЖНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЕШИФРИРОВАНИЯ

Успешность дешифрирования характеризуется тремя показателями: достоверностью, полнотой и точностью результатов.

Достоверность дешифрирования характеризует безошибочность распознавания или, иначе, отсутствие дезинформации, т.е. перепуты-

вания объектов и явлений. Чаще всего это происходит по причине недостаточности признаков, по которым ведется распознавание, иногда из-за недостаточного знакомства с объектами дешифрирования и характером всей территории. Достоверность гарантируется прежде всего качеством снимков.

Достоверность R_r количественно определяется через отношение всей извлеченной информации J_a к содержащейся в снимках информации о признаках объектов, среди которых есть и ложные признаки J'_o :

$$R_r = \frac{J_a}{J'_o}.$$

Поскольку процесс дешифрирования носит вероятностный характер, достоверность дешифрирования каждого объекта может быть выражена через условную вероятность того, что объект (x) действительно передан на снимках признаком (y) — $P_y(x)$. Предполагается, что вероятность появления ошибочных результатов понижается при целенаправленном преобразовании и фильтрации снимков, для чего собственно и прделываются различные манипуляции с изображениями. Но, повышая дешифрируемость одних объектов, мы снижаем вероятность правильного распознавания других, что и следует всегда иметь в виду. Поэтому, например, при топографическом дешифрировании, когда нас интересует все содержание снимков, практически не прибегают к кардинальным перестройкам аэрофотоизображений.

Очевидно, что однозначное соответствие между объектом и его изображением на снимке зависит от масштаба, зоны регистрации электромагнитного спектра, геометрического и тонового (цветового) разрешения; все они должны выбираться такими, чтобы достоверность распознавания была наивысшей. Такие рекомендации вырабатываются в процессе длительного накопления опыта и пока что с трудом поддаются предрасчету.

Полнота результатов дешифрирования характеризует полноту извлечения информации из снимков. Отсутствие пропусков, полнота дешифрирования определяется условной вероятностью того, что при наличии признака (y) объект (x) будет действительно распознан — $P_x(y)$. Количественно полнота может быть подсчитана по формуле

$$R_t = \frac{J_a}{J_o},$$

где J_o — содержащаяся в снимках информация об объектах дешифрирования.

Полнота результатов дешифрирования в значительной степени зависит от знаний и опыта дешифрирования, общей и специальной подготовки, равно, как и от рациональной организации процесса дешифрирования, организованности и других личных свойств дешифровщика. Зависимость результатов дешифрирования от класса исполнителя весьма значительна при работе с крупномасштабными снимками и становится меньше по мере уменьшения масштаба. При работе неквалифицированных исполнителей на цветных спектральнональных снимках наибольший эффект дает метод дешифрирования по эталонам. При работе на черно-белых и цветных в натуральных цветах снимках применение эталонов тем эффективнее, чем крупнее их масштаб. Полнота дешифрирования падает с уменьшением масштаба черно-белых и цветных снимков и почти не меняется при работе со спектральнональными цветными снимками.

Точность результатов дешифрирования оценивается ошибкой распознанных и обозначенных контуров относительно пунктов геодезической сети или ошибкой их взаимного положения. Ошибка обозначения контуров зависит от масштаба снимков и их геометрического разрешения, а также обобщенности изображения. Взаимное смещение контуров связано с разномасштабностью внутри снимков, т. е. зависит от рельефа, наклона снимков и кривизны поверхности Земли.

Ошибки распознавания и обозначения границ участков на снимке оцениваются средней квадратической ошибкой $\pm 0,15$ мм, т. е. примерно равны графической точности картографирования. Этот вывод сделан для легко различимых контуров. Но приходится иметь дело также с контурами, которые трудно распознаются на снимках. Тогда ошибки распознавания могут увеличиваться, более частыми становятся грубые просчеты. На практике приходится иметь дело с двумя противоположными ситуациями. Во-первых, на снимке может быть плохо различим контур или объект, который в натуре занимает вполне определенное место. Тогда, разумеется, ошибка обозначения может быть большой. Во-вторых, на снимке могут быть отчетливо видны границы и контуры, которые на местности определяются с трудом. Это может возникнуть из-за значительного обобщения изображения на мелкомасштабных снимках. В этом случае понятие ошибки обозначения не определено. Под точностью дешифрирования можно также понимать ошибки измерений длин линий, площадей, высот, глубин. Они существенно зависят от свойств используемых снимков и методов измерений.

Надежность результатов дешифрирования определяется тремя группами факторов:

- 1) надежностью снимков, пригодностью их для решения данной задачи;
- 2) надежностью дешифровщика, зависящей от его личных свойств и общей и специальной подготовки;
- 3) надежностью применяемой технологии, способов извлечения информации из снимков, рациональной организацией процесса дешифрирования.

Надежность снимков связана с их информационными, изобразительными и метрическими свойствами. Если рассматривать снимки как вместилище информации, то их информационная емкость может быть подсчитана, как это уже было показано в главе 5. Напомним, что информационная емкость снимков зависит от их геометрического и фотометрического разрешения. При этом чем больше геометрическое разрешение, тем больше разнообразных объектов мы находим на снимке. Фотометрическое разрешение, т. е. количество тонов (цветов), участвующих в построении изображения, передает различие качественных свойств дешифрируемых объектов.

В конечном счете основным критерием надежности снимков является их дешифрируемость. Она определяется суммой всех свойств снимков и количественно выражается через отношение объема информации, которую содержат данные снимки, ко всей информации, которая необходима для решения поставленной задачи.

Надежность дешифровщика определяется тремя группами факторов.

1. Физиологическими данными, в первую очередь нормальным зрением, которое позволяет работать с оптическими и стереоскопическими приборами, правильно различать цвета и т. п.
2. Психологическими характеристиками: вниманием, памятью, позволяющими рассчитывать на низкий уровень логических ошибок.
3. Наличием у дешифровщика профессиональных навыков, его общей и специальной подготовки, знакомства с объектом дешифрирования (рис. 9.12).

Перечисленные факторы совместно определяют профессиональную пригодность дешифровщика к работе, его общую работоспособность, которая относится к первому показателю надежности дешифровщика. Другими, и не менее важными показателями являются: работоспособность в данный момент («исправность»), интервальная надежность или длительность безотказной работы в течение рабочего



Рис. 9.12. Факторы и показатели надежности дешифрирования

времени, долговечность — длительность работы до потери общей работоспособности, скорость адаптации к различным условиям работы, производительность труда и ее стабильность («безотказность»).

Процесс дешифрирования можно рассматривать как функционирование некоторой системы «человек-снимок». Этот процесс завершается выдачей (потреблением) информации, количество и содержание которой определяются надежностью этой системы. Обратная связь в системе «человек-снимок» заключается в совершенствовании источни-

ка информации — снимка, приспособление его к решению конкретной задачи, а также в изменении технологии работы. Однако коррекция снимков немедленно осуществляется лишь отчасти, главным образом путем подбора способов их фильтрации и преобразования.

Управление дешифрируемостью снимков в полном смысле слова всегда опаздывает по отношению к данному акту дешифрирования. Скорость коррекции много меньше скорости накопления данных для коррекции. Накопленный опыт в полной мере реализуется лишь впоследствии, когда преодолеваются технические и организационные препятствия.

Человек — активное звено в единой системе со снимками — обладает множеством изменчивых черт и свойств характера, делающих результаты дешифрирования существенно зависимыми от совокупности этих свойств, т.е. от надежности дешифровщика. Под этим подразумевается его способность выдавать полные и достоверные результаты дешифрирования.

Знакомство со снимками требует времени. Процесс дешифрирования занимает тем больше времени, чем сложнее объект изучения, труднее устанавливается связь признаков с объектами и явлениями, меньше опыт дешифровщика. Следует помнить, что, согласно общему правилу, чем больше смотришь, тем больше видишь, ибо «созерцание приводит к размышлению, размышление — к познанию мира» (М. В. Ломоносов).

Для того чтобы распознавать на снимках конкретные объекты, необходимо иметь соответствующие им понятия. Однако нет «чистых» фактов, суждений, за которыми не стояла бы определенная концепция — система взглядов. Результат дешифрирования всегда связан с личностью наблюдателя. Личная ошибка каждого дешифровщика проявляется в том, что одни склонны к преувеличениям и видят на снимках более того, что есть. Другие — обедняют результаты, пропуская какую-то часть информации. Только рассматривая снимки многократно, наблюдатель приобретает необходимый опыт, пока наконец не станет способным отыскивать и распознавать такие детали изображения, которые он сначала не замечал или не узнавал.

Основной прием, которым пользуются для того, чтобы повысить надежность дешифрирования, а, вместе с тем, увеличить количество и разнообразие получаемой информации — это *дублирование*.

Прежде всего *дублируют аэрокосмические снимки*. Если дешифровщик располагает снимками только одного залета, то и тогда можно прибегнуть к просмотру парных изображений в зоне перекрытия

снимков. Картина на них будет, несомненно, разная, показывающая объект съемки с разных сторон. Еще удобнее одновременно анализировать снимки залетов, различающиеся масштабом, ракурсом, временем, спектральной зоной съемки. Ю. Ф. Книжников называет этот прием *принципом множественности*. Современные многоспектральные, многокамерные аппараты, например МКФ-6М, предоставляют для этого прекрасные возможности. Известно, например, что при одном признаке полнота дешифрирования составляет 70%, при двух — 90%, а при трех — 98%. Однако при большой серии одновременно анализируемых снимков надежность может падать из-за перегрузки памяти дешифровщика.

Другой путь — *дублирование исполнителей*. В практике полевого топографического дешифрирования распознавание точек стояния и сомнительных контуров продлевается совместно дешифровщиком и его помощником. И в полевых, и в камеральных условиях в определенной мере дублирование выполняет редактор. В лабораторных условиях дублирование исполнения предусмотрено конструкциями некоторых приборов, например интерспектроскопа, который выпускался в «совещательном» варианте для двух дешифровщиков.

Третий путь — *дублирование технологий дешифрирования*, используемых приемов, методик и приборов. Одно из важнейших условий надежности результатов дешифрирования — наличие контролируемой технологии и строгое следование ей. Самый распространенный прием дешифрирования, давно и с успехом используемый на практике, — это попеременное полевое и камеральное дешифрирование снимков. В камеральных условиях надежность повышает повторение циклов анализа снимков: от общего знакомства к частностям и вновь общий просмотр.

Четвертый путь — максимально возможное *исключение влияния личного суждения* дешифровщика на результат дешифрирования. Поэтому одна из задач технологии дешифрирования — исключение субъективного влияния. Опыт показывает, что, по мере того как процесс дешифрирования совершенствуется и рационализируется, его результаты становятся все менее зависимыми от личности дешифровщика.

Огромный поток сведений, с которыми сталкивается дешифровщик, может существенно исказить результат дешифрирования, если не упорядочить сам процесс извлечения информации из снимков. Поэтому технология дешифрирования, способ деятельности дешифровщика играют важную роль в обеспечении высокого уровня надежности результатов дешифрирования. С другой стороны, качество дешифри-

рования служит критерием для оценки выбранной технологической схемы.

В настоящее время производство располагает техническими средствами, позволяющими получать снимки с самыми разнообразными свойствами. Однако, как уже было сказано, остается нерешенной задача получения таких снимков, которые обеспечивали бы сами по себе максимальную полноту, достоверность и точность результатов дешифрирования. Этот недостаток исходного материала восполняется увеличением петель обратной связи «снимки-натура» в технологической цепи дешифрирования снимков и организации работ. Остается незыблемой система сочетания полевого и камерального дешифрирования, как и визуального с инструментальным.

Последовательность анализа содержания снимков обуславливается особенностью местности, задачей дешифрирования и в значительной степени соответствием между целью дешифрирования и возможностями снимков, прежде всего их масштабом, так как он определяет в рисунке изображения ведущие компоненты, с которых и начинается анализ. Хаотичность и бессистемность процесса дешифрирования создают предпосылки для ошибок, так как перегружают дешифровщика информацией, усложняя и без того трудную задачу многоступенчатого косвенного дешифрирования. Поэтому процесс анализа снимков должен быть упорядочен.

Надежность дешифрирования падает при недостатке информации и ограниченном обзоре местности на снимках. Не существует универсального критерия для определения оптимальных пределов одновременно обзораемой территории. Они зависят от многих причин: характера местности, обобщенности изображения и многого другого. Обычно же считается, что чем больше обзор, тем достовернее дешифрирование. Опыт показывает, что для стереоскопического просмотра снимков чаще всего вполне достаточно поля обзора обычного стереоскопа ЛЗ 10 × 10 см. Для стереофотограмметрических измерений рациональный радиус поля зрения составляет 2–2,5 см.

Вместе с тем известно, что наблюдатель может одновременно принять и фиксировать в оперативной памяти ограниченное число знаков-признаков. Поэтому, например, трудно представить местность в целом, если просто последовательно рассматривать отдельные снимки, для этого удобнее пользоваться монтажом из снимков — фото-схемой. По этой же причине очень труден совместный анализ различных, например многоспектральных, снимков на одну местность. Такого рода работа с использованием массивов снимков в первую

очередь нуждается в автоматизации с использованием компьютера.

Надежность дешифрирования тем выше, чем специфичнее дешифровочные признаки, непосредственное связи объектов дешифрирования с объектами и явлениями, которые используются как индикаторы. Мультиспектральная или многозональная съемки дают возможность судить о свойствах объектов по сочетанию прямых признаков — тонов или цветов изображений. Однако оперировать, например, шестью разноспектральными изображениями, что позволяет съемка камерой МКФ-6М, только визуально мешает ограниченность человеческой памяти.

Существенное влияние на надежность дешифрирования имеют разнообразные оптические иллюзии. Они проявляются в искаженном восприятии размеров, форм, тонов и цветов изображений и являются источником дезинформации. На иллюзорность восприятия пространства при рассматривании аэрофотоснимков обращал внимание Л. Н. Келль. На ошибки дешифрирования из-за зрительных иллюзий указывал также Г. Г. Самойлович (см. параграф 7.6 «Зрительные иллюзии»).

Натренированность наблюдателей не делает их невосприимчивыми к иллюзиям. Но влияние иллюзий на результат дешифрирования заметно уменьшается или вовсе исчезает, если изображение на снимке четко ассоциируется с реальными физическими объектами, наблюдаемыми непосредственно. Для этого снимки должны быть наглядными, а местность по возможности хорошо знакома дешифровщику. Замечено также, что при достаточно длительном и сосредоточенном рассматривании под стереоскопом некоторой ограниченной площади, особенно на крупномасштабных снимках, возникает иллюзия типа «эффекта присутствия». Наблюдатель мысленно переносит себя в наблюдаемую среду, как бы оживляя ее. При этом дешифровщик значительно легче распознает такие объекты и явления, которые ранее распознавал и истолковывал с трудом.

При достаточно большом интервале между моментами наблюдения и фиксации результатов появляются ошибки из-за возникновения послеобразов. В памяти наблюдателя происходит трансформация прямых признаков. При этом большие искажения претерпевает цвет и меньшие — форма изображения. Известно, что по прошествии некоторого времени дешифровщики не могут достаточно точно описать по памяти цветовые признаки объектов на различных цветных отпечатках. Это обстоятельство следует учитывать при работе с цветными, особенно спектральнозональными снимками.

Для выполнения дешифровочных операций дешифровщику требуется некоторое время, во-первых, для адаптации, приспособления к условиям работы и, во-вторых, для считывания информации.

Для того чтобы наблюдатель обнаружил изображение объекта на снимке, его глаза должны приспособиться к восприятию предмета в определенном месте и на определенном расстоянии. На полное завершение процесса аккомодации и адаптации глаз требуется от 0,2 до 0,3 с. Глубина стереоскопического зрения достигает максимума через 0,5 с после начала наблюдения. Это предельные нормы, которые свойственны натренированным дешифровщикам, работающим в условиях нормального освещения (600–800 лк).

Поиск объекта на снимке также требует времени и тем больше, чем сложнее рисунок изображения. С увеличением дробности контуров возрастают затруднения с распознаванием объектов, снижается скорость работы. В конце XIX в. австрийский психолог И. Меркель экспериментально установил время, необходимое человеку на отыскание единственного элемента среди нескольких. Обработка данных Меркеля, сделанная много позже, показала, что это время пропорционально логарифму числа элементов, из которых производится выбор.

Время, затрачиваемое на дешифрирование, зависит от многих причин, в том числе от того, в полевых или камеральных условиях оно прodelывается. По Д. А. Богомолову, оптимальное время, затрачиваемое дешифровщиком на обнаружение и распознавание 2–3 смежных объектов при аэровизуальном дешифрировании, равно 30 с, а для особо напряженных условий работы за счет реализации внутренних резервов — 10 с.

В удобных и спокойных камеральных условиях время прямого распознавания составляет доли секунды на каждый объект, но при косвенном дешифрировании времени на анализ изображения затрачивается значительно больше. Если снимки достаточно наглядны, считывание информации в первый момент происходит почти со скоростью физиологической адаптации, но по мере того, как непосредственное распознавание сменяется косвенным, индикационным, скорость извлечения информации снижается. Максимальная полнота дешифрирования достигается через различное время t , измеряемое и минутами, и часами, в зависимости от характера и объема извлекаемой информации и, конечно, профессионального умения и способностей дешифровщика.

При непрерывном смещении поля обзора, например при визуальном дешифрировании снимков с летательных аппаратов, время t огра-

ничивает скорость работы дешифровщика. Объем поступающей информации и скорость ее считывания должны быть согласованы так, чтобы исполнитель успевал по крайней мере воспринять и распознать объект дешифрирования. Отбор и переработка информации требуют еще больше времени.

Существуют два значения времени — оптимальное t_o и критическое t_c . В нормальных условиях дешифровщик затрачивает оптимальное время, но в условиях дефицита времени он «сжимает» его до критического, за пределами которого резко снижаются полнота и достоверность результатов дешифрирования. Для практических целей полезно определять зависимость личной надежности дешифровщика и времени устойчивой работоспособности в интервале $t_o - t_c$.

Надежность работы дешифровщика и его эффективность меняются в течение времени, при этом в шкале времени выделяются три этапа (рис. 9.13).

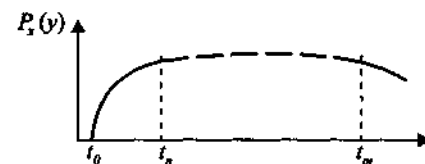


Рис. 9.13 Зависимость надежности дешифрирования от времени дешифрирования.

Первый этап в диапазоне времени $t_0 - t_n$ истолковывается как период поиска наиболее выгодного режима работы, приспособления к условиям работы. В этом диапазоне полнота дешифрирования P_i является логарифмической функцией времени $P_i = K \lg_a t + C$, где K — порог контрастности, которым характеризуется отношение минимальной воспринимаемой глазом яркости объекта и фона к яркости фона, C — постоянная. Интервал времени $t_0 - t_n$ можно также толковать как период обучения дешифровщика. Во время t_n он достигает некоторого относительно постоянного уровня надежности.

Для практических целей полезно знать условия, при которых период обучения может быть сведен к минимуму. Таким условием является оптимальное управление процессом обучения навыкам дешифрирования, что возможно при дифференциации обучающихся по темпам и качеству обучения, оперативном вмешательстве в ход формирования определенного комплекса знаний и умений и др. Совокупность этих правил составляет систему программированного обучения.

В ряде зарубежных стран пригодность каждого индивидуума для работы со снимками проверяется с помощью тестов. Мы полагаем, что

общие успехи по всем учебным дисциплинам являются достаточной гарантией достижений и в области освоения аэрокосмических методов, в особенности дешифрирования снимков.

В интервале $t_n - t_m$ надежность дешифрирования E сохраняется стабильной, однако ее абсолютный уровень, как и продолжительность периода, весьма различен. Если полагать, что вместе с повышением надежности растет объем извлеченной информации, то ее суммарная величина за отрезок времени $t_0 - t_m$ характеризуется интегралом

$$E = \int_{t_0}^{t_m} f(t) dt.$$

Момент наступления усталости t_m предопределяется психофизическими свойствами дешифровщика и всей совокупностью условий его работы. Это верно и для работы в течение трудового дня, и для всего периода профессионального труда дешифровщика.

С усталостью происходят скачкообразные переходы производительности и надежности результатов дешифрирования на все более низкий уровень. Попытка сохранить на прежнем уровне один из этих показателей приводит к еще большему ухудшению другого.

Способность дешифровщика стабильно выдавать достоверные и полные результаты, т. е. быть надежным в течение некоторого отрезка времени и при определенных внешних условиях, характеризует его *эффективность*. Количественным критерием эффективности может служить *фактическая, или оперативная, эффективность*, которая зависит от производительности труда W_0 , определяемой из отношения

$$W_0 = \frac{R_t J_o}{t} = \frac{J_a}{t}$$

или

$$W_0 = \frac{E}{t}.$$

Оперативная эффективность является наиболее мощным критерием и надежности, и профессионального уровня дешифровщика в целом. Однако ее определение сопряжено с большими затратами времени и средств из-за сложности учета многообразных взаимодействующих факторов. Специфическая трудность изучения надежности дешифровщика и результатов дешифрирования заключается в отсутствии разработанной методики исследования, хотя существуют многочисленные публикации по проблемам инженерной психологии. Собственно разрешением проблем взаимодействия и взаимосвязи людей и

орудий труда, в том числе условий труда с надежностью исполнителей, занимается самостоятельно научная дисциплина — *эргономика*.

Вместе с тем сравнительный анализ надежности дешифровщиков и их эффективности при различных условиях труда и использовании разнообразных приемов и средств труда позволяет объективно сформулировать профессиональные требования к дешифровщикам, оценивать качество их работы, совершенствовать материалы съемки, разрабатывать рациональную технологию дешифрирования.

Надежность результатов дешифрирования зависит, помимо всех перечисленных причин, также от общих и специальных знаний и умений дешифровщика. Чтобы дешифрирование из разглядывания снимков превратилось в исследование их содержания, нужно задаться определенной целью, вытекающей из интересов и задач конкретной области знания или производства.

Естественно, цели и задачи дешифрирования должны сформулировать специалисты, представляющие конкретную науку или отрасль производства. Они, собственно, и должны проводить дешифрирование. Трудно представить себе специалиста по дешифрированию «вообще», как немисливо и бесцельное дешифрирование. Это не значит, что исключается сотрудничество различных специалистов, в первую очередь топографов с географами, геологами и представителями других наук о Земле.

Выявление смысла, понимание воспринимаемого — конечное звено переработки всякой информации. В результате мыслительной деятельности: операций анализа, синтеза, сравнения, классификации, обобщения и в конечном счете оценки, происходит свертывание информации, ее усвоение и превращение информации в знание.

Глава 10

АЭРОКОСМИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ

10.1. ЗАДАЧИ И ПРОБЛЕМЫ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

С 20–30-х годов прошлого столетия, когда «книгу природы» стали и читать, и картографировать по аэрофотографическим снимкам, и вплоть до настоящего времени, когда картография стала и космической, единение дистанционных методов с картографией становилось все более тесным.

Развитие картографии происходит по присущим ей внутренним законам, но отражает потребности общества. Исследование природы на современном этапе нуждается, во-первых, в использовании материалов дистанционных съемок, полученных с разных высот и в различных зонах спектра, во-вторых, в моделировании структуры и динамики природных систем средствами картографии и изучении их картографическими методами на основе преобразования снимков в карты.

Все это порождает множество географических и технических проблем, совокупность которых составляет область, на основе которой сформировалась *аэрокосмическая картография*.

Аэрокосмическая картография изучает материалы воздушной и космической съемок и вырабатывает требования к ним, разрабатывает оптимальную методику дешифрирования, исследует процесс генерализации при переходе от снимков к картам, решает технические задачи картографирования по материалам съемок, разрабатывает технологию создания различных по содержанию, назначению и масштабам географических, тематических и специальных карт.

Взаимоотношения человеческого общества и природной среды должны быть управляемыми. Аэрокосмические методы позволяют получать для этого карты обширных пространств за самое короткое время с любой степенью содержательной и метрической обобщенности. В них удачно сочетаются оперативность аэрокосмического и целенаправленность картографического методов описания и исследования окружающей среды.

Современный этап развития аэрокосмической картографии характеризуется расширением области картографирования, появлением новых по содержанию, назначению и форме карт, новых технологий картографирования и методов использования карт. Вместе с тем возник и ряд новых проблем. Прежде всего встает вопрос об эффективности аэрокосмических методов картографирования. Ответ на него неотделим от ответа на другой вопрос: какова сфера использования аэрокосмической картографии в науке и практике.

Опыт показывает, что аэрокосмическое картографирование имеет определенные рамки применимости, обусловленные параметрами съемки: масштабом, геометрическим разрешением, спектральной зоной регистрации и др. Снимки фиксируют мгновенное состояние местности или серию таких состояний. Информация, которую можно прямо или косвенно получить по снимкам, не всегда достаточна для составления карты. Косвенно получаемая информация тем менее точна, полна и достоверна, чем сложнее и опосредованнее используемые для дешифрирования связи между элементами природного комплекса. Поэтому, например, сравнительно легко получить по инфракрасным снимкам карты полей поверхностных температур на определенный момент, но сложнее составить карту изменения погодных условий, и еще труднее картографировать климатические особенности территории.

По этим причинам эффективность картографирования по снимкам различна при создании карт первичных, например регистрирующих состояние природной среды, и карт производных, синтетических, передающих информацию, полученную в результате обработки и анализа данных. Поэтому приемы аэрокосмической картографии развиваются и распространяются не сплошным фронтом, а избирательно. Так, аэрофотопографическая технология успешно применяется при создании крупномасштабных карт, тогда как космическое картографирование нашло главное применение в различных вариантах геологического, ландшафтного и, в последнее время, экологического картографирования.

В развитии аэрокосмической картографии проявляются две взаи-

мосвязанные тенденции. С одной стороны, происходит все более широкое и массовое использование материалов дистанционных съемок при картографировании природы Земли, опирающееся на традиционную технологию тематического картографирования, с другой — разрабатывается и внедряется в практику все более сложный математический аппарат и технические средства — компьютеры.

Технология аэрокосмического картографирования включает четыре основных этапа: получение первичного изображения, преобразование его во вторичное изображение, соответствующее задачам картографирования, целевая интерпретация — дешифрирование снимков и составление карт. Эти этапы объединены в последовательную цепь операций, в каждом звене которой возникают свои проблемы и задачи, во многом еще не разрешенные, но являющиеся предметом интенсивных исследований.

Основные этапы и проблемы аэрокосмического картографирования представим в виде общей схемы (рис. 10.1).

При составлении карт по снимкам последние служат основным источником информации, поэтому подбор снимков, максимально пригодных для решения конкретных картосоставительских задач, т. е. релевантных, в значительной степени определяет успешность всей работы. Вместе с тем наличие снимков само по себе не гарантирует ни высокого качества создаваемой карты, ни полноты использования самих снимков. Собственно задача состоит в том, чтобы получить снимки максимальной дешифрируемости и, следовательно, по содержанию соответствующие составляемой карте. Эту задачу трудно решить, не установив закономерности построения и обобщения изображения в связи с различными параметрами съемки.

Практически не существует снимков, соответствующих каким-либо картам настолько, чтобы они совпадали по всем элементам содержания. Всегда возникает задача геометрической и содержательной перестройки изображения на снимке, а также перевода его в иную запись другой системой обозначений. Поэтому задача выбора снимков является достаточно сложной. Все опубликованные рекомендации по выбору снимков для географического, геологического дешифрирования и картографирования носят приблизительный характер и основаны не столько на расчетах, сколько на многолетнем опыте работы со снимками.

Опыт также показал, что не существует снимков, абсолютно пригодных на все случаи картографирования. Все зависит от задачи, которая решается, на основе содержания и назначения создаваемых карт. С



Рис. 10.1. Основные этапы и проблемы аэрокосмического картографирования

другой стороны, снимки — довольно универсальные носители информации и могут быть использованы для различных целей картографирования с большим или меньшим успехом.

В результате съемки получают оригинальный материал, при фотографировании — это негативы, при цифровой и иных видах электромагнитной съемки — в виде записи на иных носителях. Но в любом

случае дешифровщику-картографу выдаются либо **фотографическим** путем зафиксированные снимки, либо изображения на экране компьютера.

Последующая задача состоит в том, чтобы путем фильтрации и преобразований получить вторичное изображение в наиболее удобном для дешифрирования и картографирования виде. В процессе обработки появляется возможность получить вариант изображения с требуемой степенью геометрической и содержательной генерализации. Основная задача — приблизить аэрокосмическое изображение к картографическому настолько, чтобы уровни их формального и содержательного обобщения максимально совпали. В идеале преобразование и фильтрация в конце концов должны дать изображение настолько адекватное картографическому, что останется только разместить его в рамках карт.

Процесс дешифрирования начинается с распознавания и истолкования содержания снимков и завершается передачей результатов дешифрирования в графической форме в виде схем, играющих роль предкарт, которые служат переходным звеном от снимков к картам. Возникающая при этом задача состоит в объективизации процесса дешифрирования с тем, чтобы обеспечить достаточно высокую надежность его результатов. Основная проблема графического воспроизведения результатов дешифрирования — правильная картографическая генерализация. При решении этой задачи происходит заметное разделение технологий. Компьютерное дешифрирование развивается в рамках аэрокосмических методов, тогда как преобразование полученной информации в картографическую форму — задача автоматизации картосоставления.

Эти усилия не всегда объединяются. Отчасти поэтому успехи в автоматизации дешифрирования не слишком велики, и роль картографа-дешифровщика остается главенствующей. Прямое, в разной степени механизированное, преобразование аэрокосмического изображения в картографическое более или менее возможно при создании общегеографических (топографических) карт. Карты оценочные, синтетические, как и большинство тематических карт, требуют промежуточного анализа отдешифрированной информации. Поэтому на этапе анализа между снимками и картами создается некоторый компьютерный банк данных. Вся отдешифрированная информация перекодируется, дополняется данными из других источников, анализируется и обрабатывается по определенной программе, на выходе строится картографическое изображение.

Поэтому в развитии аэрокосмической картографии выделяются две взаимосвязанные тенденции. С одной стороны, происходит все более широкое использование материалов дистанционных съемок в картографировании природы Земли, опирающееся на традиционную технологию тематического картографирования, с другой — разрабатывается и внедряется все более сложный математический аппарат и технические средства для фильтрации и преобразования одного изображения в другое.

10.2. СНИМКИ И КАРТЫ

Первые аэронавты были поражены видом Земли с высоты. По их словам, местность расстилалась под ними как гигантская карта. Аэрофотография закрепила это впечатление. Если сначала картографы воспринимали снимок не более чем как местность, доставленную на дом, то затем стали рассматривать его как аналог карты. В конце концов это привело к идее о возможной и даже неизбежной замене карт снимками, подхваченной рядом ученых и практиков.

Однако возникшая было конкуренция между аэрофотографическими и картографическими изображениями, как и следовало ожидать, не принесла победы никому, хотя и не прошла бесследно. Поучительна в этом плане эволюция топографии сначала в аэрофототопографию, затем в аэрокартографию и, наконец, в аэрокосмическую картографию. Роль карт не только сохранилась, но и повысилась: чрезвычайно разнообразными стали формы картографирования. Между снимками и картами возник целый ряд промежуточных произведений: иллюминированные снимки, графические схемы и имитации фотоизображений, фотокарты и фотоглобусы, орбитальные карты и др.

Иллюминированные снимки — это расцвеченные снимки, на которых показаны цветной раскраской или штриховкой возвышенные места и низины, леса или луга и т. д. К иллюминированию снимков прибегают во время работы в поле, при географическом или геологическом анализе содержания снимков и в других случаях.

Имитация снимков — это географические черно-белые или цветные подражания снимкам, более или менее приближающиеся к оригиналам. Имитации аэрокосмических снимков как их эквиваленты, передающие внешние особенности изображения, с успехом используются в качестве эталонов-иллюстраций, носителей дешифровочных признаков и полезны, например, при обучении дешифрированию снимков.

Графические схемы являются в разной степени обобщенными изоб-

ражениями, полностью или частично передающими содержание снимков графическими средствами. Графические схемы служат связующим звеном между снимками и картами, обеспечивая и облегчая переход как от карты к снимкам при дешифрировании, так и от снимков к карте. При картографировании они играют роль макетов-предкарт. В виде графических схем оформляются обычно результаты тематического дешифрирования. При дешифрировании графические схемы могут играть роль эталонов, воспроизводящих основные черты структуры и текстуру изображения на снимках.

Графические схемы могут быть контурными и тоновыми или цветными. Контурная графическая схема представляет собой как бы профильтрованное изображение, в котором от снимка сохранились лишь контуры и линейные элементы. Такое фильтрованное изображение может быть получено не только графомеханическим или ручным способом, но и путем фотографической фильтрации, о чем рассказывалось в параграфе о преобразовании снимков.

Орбитальные карты появились вместе с предложением подражать на физико-географических картах и в гипсометрических шкалах распределению цветов и цветовых оттенков на космических фотографиях Земли. За рубежом созданы орбитальные настенные карты материков, для которых разработана специальная система условных обозначений, похожая по формам и цветам на фотографии Земли из космоса. Высказывалась мысль о том, что орбитальные карты вытеснят из употребления карты с послойной гипсометрической окраской (зеленые, желтые, коричневые цвета), которая в случае чрезмерной условности порождает затруднения с восприятием рельефа, особенно у учащихся. На самом деле этого не произошло, возможно потому, что изображение Земли на орбитальных картах также условно, так как по всей картографируемой территории приходится как бы осреднять ситуацию, «снимая» сезонные и частные атмосферные явления, облачный покров и др.

Фотокарты получаются путем совмещения фотографического и картографического изображений в рамках карты. Фотокарты возможны в двух вариантах. В одних, на фоне обычной карты размещаются отдельные фотографические изображения, выкопированные из снимков, например, лесов, болот, песчаных массивов и др. Этот способ не распространился из-за дороговизны (карту нужно все-таки составить!) и плохой читаемости отдельных выкопированных участков среди графически воспроизведенного содержания.

Другой способ — размещение картографического изображения на

фоне снимков. Разработаны две разновидности топографических фотокарт. Во-первых, черно-белые фотокарты в дополнение к обычным топографическим картам. На них на фоне черно-белого аэрофотоизображения (фотоплана) впечатываются: воды — голубым цветом, рельеф — коричневым, дороги — черным цветом. Населенные пункты только подписываются. Во-вторых, разработаны многоцветные фотокарты, которые создаются взамен топографических карт. Штриховые условные знаки используются обычные для фотокарт данного масштаба, а фоном служит цветное аэрофотоизображение.

Фотокарты нашли пока применение в аэрофототопографии. Но точно так же могут быть составлены карты любого содержания и различных масштабов, например космические фотокарты. Фон может быть составлен не только из обычных фотографических снимков, но и, например, радарных или тепловых снимков, а также полученных сканирующими системами и приборами цифровой съемки. Известны опыты создания рельефных аэрофотокарт и космофотокарт.

Фотоглобусы — это глобусы, на поверхности которых смонтированы космические снимки с нанесенной на них сеткой меридианов и параллелей (или без сетки). Фотографическое изображение может быть составлено, например, из телевизионных снимков с метеорологических ИСЗ. Состояние земной поверхности и атмосферы может быть отражено случайным изображением или специально выбранным и обобщенным во времени, например, показано состояние облачного покрова Земли, осредненное за месяц. Распределение сезонов по земному шару может быть также случайным и искусственно подобранным. Фотоглобусы, как и фотокарты, могут иметь разную тематику, на фотографическом фоне размещаются значки разного содержания, например, на фотоглобусах показываются климатические пояса.

Решив технологическую проблему создания разнообразных карт с помощью снимков, картографы нашли пути и способы использования тех и других в науке и практике. Таким образом были созданы условия развития без взаимных помех картографических и аэрокосмических методов изучения Земли. Тем не менее успехи аэрокосмической картографии, совершенствование способов преобразования, компьютерной обработки снимков, использование их для создания геоинформационных систем (ГИС) вновь стимулировали интерес к сравнительному анализу карт и снимков.

При этом одни специалисты утверждают, что аэрокосмические снимки есть более полные модели Земли, нежели карты. Карты же напоминают упрощенный снимок. Другие — утверждают приоритет

карт, рассматривая снимок как частный случай картографического изображения. Отзвуки этих идей проявляются в том, что процесс аэрокосмической фотосъемки стали называть «картографированием», термин «карта» распространяют на фотосхемы или даже просто снимки, совмещенные с координатной сеткой.

На самом деле, то, что карты составляются по снимкам и с помощью снимков и являются элементами одной технологической цепочки, не дает оснований признать снимки «полукартой». Действительное сходство материалов дистанционных съемок с картами заключается в том, что они занимают «образной записью» пространственно-временных ситуаций, сложившихся на некоторой территории. Поэтому существует внешнее сходство снимков с топографическими картами, особенно крупных масштабов. При уменьшении же масштаба содержание их заметно расходится. Что же касается карт тематических, то они, как известно, порой просто несопоставимы со снимками по содержанию и характеру изображению. Поэтому утверждение, что снимки являются частным случаем карты, лишено оснований, даже если речь идет о топографических картах.

Существует одно-единственное свойство, объединяющее все виды графических и фотографических изображений, — это их способность визуализировать информацию, записывая ее в различной форме. И снимки, и карты описывают пространственное распределение и сочетание объектов и явлений, составляющих предметную сущность географической оболочки Земли или ее строение. Но, разнясь по способам построения изображения, они значительно отличаются друг от друга геометрическими, изобразительными и информационными свойствами.

Геометрия снимков и карт различна. Изображение местности на карте строится как ортогональное плоскости карты (поверхности относимости), а на фотографических снимках как центральное, отчего на снимках возникает параллактический сдвиг. Так возникает внутренняя нерегулярная разномасштабность снимков, которой на картах нет, так как картам свойственна регулярная предрасчитанная равнозначность. Однако по этой же причине аэроснимки стереоскопичны, в то время как стереоскопические, чаще всего анаглифические карты, возможны, однако их создают редко, поскольку такие карты не всегда удобны для пользования.

Формальные отличия снимков от карт приводят к тому, что мы не только воспринимаем их по-разному, но также легче и тверже запоминаем и воспроизводим в виде мысленной модели карты, и куда как сложнее обстоит дело с «мысленными снимками». И карты, и снимки

используются как источники информации и инструмент анализа, исследования. Вместе с тем карта является итогом, по крайней мере, знакомства с предметом картографирования, тогда как снимки — это первичный материал, с которого исследование только начинается. Снимки никак не концентрируют накопленные знания. Они — беспристрастный и беспристрастный документ, фиксирующий некоторый объект съемки, а не знания о нем. Карта же является концентрированным отображением накопленных знаний и определенных взглядов на предмет, что и формулирует задачи картографирования.

На картах ситуация показывается отобранной и обобщенной. Карты показывают избранное, тогда как фотографии передают объект съемки комплексно. И те, и другие отображают действительность, но на снимках предметы съемки *изображаются*, а на картах *обозначаются* знаками и символами, и в целом картина местности в определенной мере конструируется.

Фотография регистрирует моментальный факт, картографы же, составляя карту, делают временной отбор. На снимках запечатлено мгновение, на картах передано состояние. Все случайное, преходящее на картах не показывается. На снимках же случайные объекты и явления запечатлеваются в изобилии, ставящем нередко дешифровщиков в тупик. Вот почему, например, такой сложной и не слишком надежной оказалась система автоматизированного дешифрирования снимков. Фотоснимки к тому же передают сезон съемки, а карты, как правило, внесезонны. На характере фотоизображения сказываются состояние погоды в момент и до съемки, а также время суток, освещенность местности. По этой причине возникли непредвиденные трудности с составлением фотокарт, на которых приходится соединять фотографическую картину с картографической графикой.

Картографии присуща определенность, системный подход к объекту картографирования, сознательный выбор средств отображения содержания, использование стандартизированных, унифицированных и однозначных условных знаков. В отличие от этого аэрофотоснимки передают индивидуальные черты каждого объекта и местности в целом. Поэтому *карты читают, а снимки дешифрируют*.

Вместе с тем следует заметить, что графическими методами может быть построено в различной степени отвлеченное, абстрагированное от действительности или, наоборот, приближенное к натуре. Кроме уже упомянутых ранее орбитальных карт, имитирующих космический вид Земли, распространены перспективные карты, иллюстрирующие взгляд на Землю с высоты птичьего полета. Они похожи на перспек-

тивные фотографии с летательных аппаратов, но по геометрическим свойствам и характеру изображения не являются их аналогом, что предопределено, в частности, малой проникаемостью толщи атмосферы при съемке с наклоном оптической оси.

При работе со снимками возникают другие трудности. Они связаны с тем, что лишённые обобщающих черт, подсказывающих, что за объект перед нами, предельно индивидуализированные образы становятся трудно распознаваемыми. Вероятно, поэтому некоторыми специалистами отмечается, что чрезмерная увлечённость похожестью карт и снимков не приносит полезных результатов.

В последнее время в связи с обострением интереса к экологическим проблемам специалисты обратили внимание на расхождения в содержании снимков и карт, связанные с тем, что первые по своей природе объективны, а вторые «от рождения» субъективны. Субъективизм стал проявляться в идеализации природной ситуации, игнорировании следов воздействия людей, природопользования, что нередко приводит к почти полной потере сходства между космическими снимками и мелкомасштабными и некоторыми тематическими картами. Это касается в первую очередь состояния растительного покрова и вод.

Теперь для удобства сравнения сведём воедино основные свойства аэрокосмических фотоснимков и карт (табл. 10.1).

Существенные расхождения в свойствах снимках и карт, особенно их геометрическое несоответствие, уже многие десятилетия заставляют фотограмметристов и дешифровщиков изыскивать разнообразные и сложные пути перехода от снимков к картам. Однако несомненно, что в области использования фотоснимков и карт можно найти что-то общее, например, некоторые приёмы фильтрации и преобразования изображений. Поэтому вполне возможно систематизировать весь набор изображений, используемых в исследованиях Земли, и создать на этой основе теоретический фундамент новой научной дисциплины — *геоиконики*. Первые попытки сформулировать ее цели и задачи и показать ее возможности предприняты А. М. Берлянтом.

Некоторые специалисты считают одной из современных задач аэрокосмической картографии формирование единого картографо-аэрокосмического метода. Сама по себе мысль найти некоторые общие основы и правила использования геоизображений несомненно нова и оригинальна, хотя в изучении Земли графические изображения используются издавна. Из них некогда и возникла картография.

Изображения, на которых растровый образ соседствует с традиционным векторным, сочетают в себе своеобразие и беспристрастность

Таблица 10.1. Сравнительный анализ снимков и карт

	Снимки	Карты
1	Внешняя перспективная проекция	Различные картографические проекции
2	Центральная или более сложная проекция местности на плоскость	Ортогональная (нормальная) проекция местности на поверхность относимости
3	Параллактический сдвиг изображения. Стереоскопичность	Сдвиг и стереоскопичность отсутствуют
4	Внутренняя разномасштабность изображения, вызванная наклоном снимка, рельефом и кривизной поверхности Земли	Внутренняя разномасштабность изображения, связанная с особенностями картографической проекции и масштабом карты
5	Обобщаются по оптико-механическим законам. Уровень обобщения выбирается	Генерализуются по установленным правилам сознательно и целенаправленно. Уровень генерализации задается
6	Изображение натуральное, индивидуальное в деталях и в целом. Система признаков неорганизованная, многозначная	Изображение условное; обозначения стандартные, унифицированные, однозначные
7	Изображение комплексное	Изображение поэлементное
8	Зависимость изображения от природных условий съемки: сезона, погоды, времени суток	Изображение внесезонное и внепогодное
9	Регистрируют мгновенное состояние и полны случайных объектов и явлений	Лишены случайностей, показывают устойчивые объекты и явления
10	Бесстрастный, беспристрастный документ. Объективны	Отражают наши знания и интересы. Субъективны

снимка с читаемостью и привычностью карты. Фактически получается то, что и следует называть фотокартой.

Возможно, что это и есть путь к выработке единой теории построения геоизображений и правил их обработки с целью извлечения максимума информации. Однако уже появились предупреждения об опасности преувеличения ценности компьютерной картографии по двум основным причинам. Во-первых, из-за недостаточной достоверности результатов автоматизированного дешифрирования. Во-вторых, в связи с неуклонным упрощением, примитивизацией графики, сползанием к картам, напоминающим технический чертеж. Очевидно, что нельзя пренебрегать принципиальными различиями между снимками и картами и пытаться свести их воедино. Вместе с тем, конечно, нель-

зя отказываться от возможности существенно разнообразить карты и обогатить их содержание за счет контакта со снимками, помня все же, что все попытки потеснить или заменить карты снимками и, наоборот, снимки картами до настоящего времени успеха не имели. Хотя симбиоз снимков с картами приносит пользу, придавая земным и внеземным аэрокосмофотографическим исследованиям большую эффективность.

Современная картография и дистанционные съемки продвинулись еще дальше. Манипуляции с аэрокосмическими и картографическими изображениями: преобразование и фильтрация снимков, конструирование карт во множестве вариантов на базе компьютерной технологии привели к тому, что между снимками и картами возникли тесные отношения некоего осмоса (взаимопроникновения). На стыке дистанционного зондирования и компьютерного картографирования и информатики сформировалось представление о виртуальных геоизображениях. Сущность виртуального изображения понимается специалистами по-разному, но большинство полагает, что «виртуальный» значит воспринимаемый как реальность, но по сути дела таковым не являющийся. Виртуальное изображение является своеобразной моделью, сочетающей в себе свойства карт и аэрокосмических снимков. По определению Ф. С. Воройского, виртуальная реальность представляет собой «искусственно созданный мир путем подмены окружающей действительности информацией, генерируемой компьютером». При этом непременно в интерактивном режиме имитируется погружение человека в этот искусственный «параллельный» мир (А. М. Берлянт). В процессе наблюдения происходит смена состояний среды «существования» и перемещение наблюдателя. Например, имитируется полет над поверхностью Земли, или, что еще эффектнее, над Марсом.

10.3. ГЕНЕРАЛИЗАЦИЯ ПРИ КАРТОГРАФИРОВАНИИ ПО СНИМКАМ

Существуют различные способы создания карт с помощью аэрокосмических методов: от непосредственных съемок на фотопланах до камерального составления по снимкам. Во всех случаях информация об объекте картографирования (местности), прежде чем она будет графически отображена языком карты, проходит достаточно длинный путь и неоднократно подвергается генерализации: во-первых, в момент съемки и дальнейшей обработки снимков и, во-вторых, во время перехода к картографической системе обозначений, при составлении карты.

Генерализация при создании карт по снимкам включает в себя следующие основные ступени (рис. 10.2).

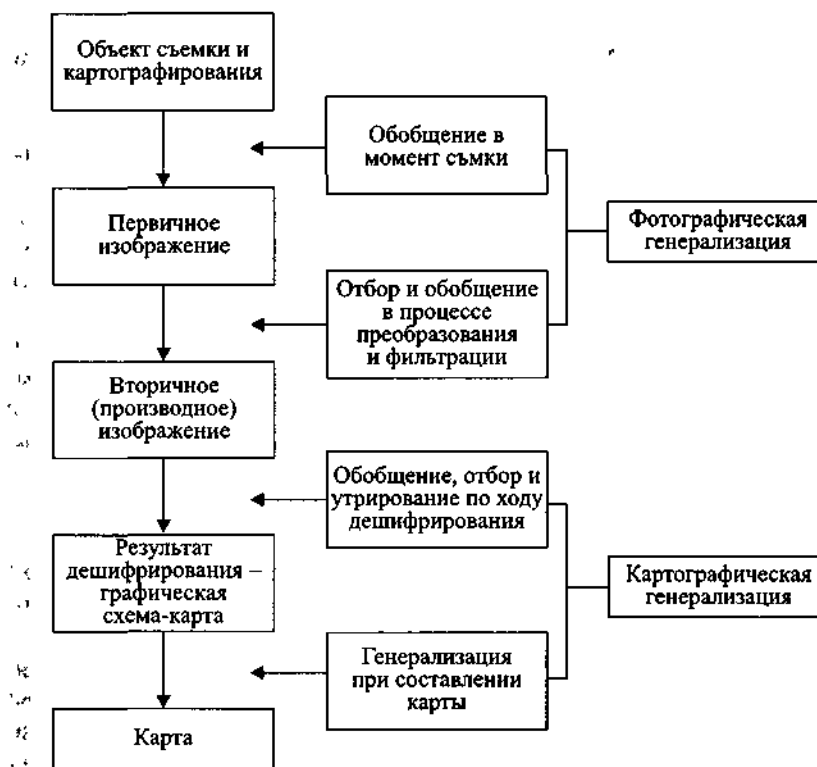


Рис. 10.2. Генерализация при аэрокосмическом картографировании.

1. Генерализация при создании легенды, установлении перечня картографируемых объектов и их свойств. Этим предопределяется информационная нагрузка карты.

2. Генерализация по ходу дешифрирования, когда создается графическая схема — предкарта, которая является как бы полуфабрикатом на пути к итогу — карте.

3. Генерализация сведений, получаемых помимо дешифрирования снимков. Обобщение этой информации должно соответствовать генерализации всей информации, извлекаемой из снимков.

4. Генерализация при составлении оригинала карты.

Картографическая генерализация заключается в продуманном об-

общении количественных и качественных характеристик объектов и явлений, целенаправленном их отборе по значению и сознательном утрировании (преувеличении) некоторых сторон картографического изображения.

Обобщение может быть, во-первых, формальным и заключаться в упрощении форм, очертаний контуров, объединении деталей и отсечении мелких извилих линейных объектов. Во-вторых, оно может быть содержательным, когда составители карт переходят от частных характеристик к обобщенным, собирательным понятиям, например: лес сосновый — светлохвойный — хвойный — просто лес — растительность.

Отбор состоит в том, что исключаются все объекты и явления, которые несущественны с точки зрения содержания и назначения карты. Он также может быть как формальным и касаться геометрических элементов изображения, так и содержательным и прореживаться в рамках норм и цензов, установленных в соответствии с назначением данной карты.

Утрирование заключается в преднамеренном преувеличении размеров важных объектов, в подчеркивании наиболее существенного.

Все стороны генерализации связаны между собой: всякие формальные преобразования изображения влекут за собой изменение его содержания и, наоборот, стремление изменить содержание требует формальных перестроек изображения. Вопрос только в том, что есть причина и что — следствие.

При картографической генерализации установочными являются требования передачи вполне определенного содержания на конкретной карте, генерализация форм является лишь средством достижения цели. Картограф сознательно регулирует процесс генерализации, добиваясь определенного результата. Таким образом, картографическая генерализация носит управляемый характер, поскольку цель заранее определена и выбраны приемы, которыми она будет достигнута.

Иной характер имеет обобщение во время съемки и в процессе обработки снимков. Она происходит по формальным оптико-механическим законам, управляющее воздействие специалистов осуществляется здесь иначе, преимущественно методом проб и ошибок, опираясь на накопленный опыт. Косвенное воздействие картографов на характер съемочного материала осуществляется через выбор времени, зоны спектра материалов, масштаба и технических средств съемки.

Переход от снимков к карте означает переход к иному, графическому языку представления информации и обязательно сопровождается генерализацией. При этом часть информации неизбежно и без-

возвратно теряется. Во-первых, происходит отсев всех бесполезных в данном случае сведений; во-вторых, отходят на задний план и также исчезают объекты, которые отслужили роль индикаторов и сами по себе объектом картографирования не являются; в-третьих, возникают потери из-за недостаточной полноты дешифрирования; в-четвертых, утрачивается информация из-за того, что нарушаются заданные нормы генерализации.

Генерализация составляет существенную часть процесса дешифрирования, так же как само дешифрирование является важнейшей составной частью процесса аэрокосмического картографирования. Генерализация происходит на всех уровнях, по отношению ко всем сведениям. Обобщаются очертания природных границ, контуры объектов, исчезают или опускаются детали и т. д. Обобщение проявляется также в переходе от конкретных свойств объектов к обобщенным представлениям о них. Наши знания обобщены до понятий. Понятие объединяет или синтезирует в себе много индивидуальных черт, в этом состоит его обобщающая роль. Существует целая иерархия ступеней обобщения: от отдельных объектов к виду, от вида к роду и т. д. В результате уточняется содержание понятия и появляются новые понятия, ранее неизвестные, что и составляет одну из сторон всякого исследования и неотделимо от процесса дешифрирования.

Генерализация осуществляется при распространении установленных для одной местности закономерностей на другие территории. При этом одни закономерности расширяют границы своего действия, другие, ранее как бы безграницные, наоборот, обретают границы и становятся частным случаем более общего закона. Разнородные закономерности объединяются в единый закон. На этом основана экстраполяция признаков дешифрирования, которая является ничем иным, как установлением границ действия определенных природных закономерностей.

Пределы генерализации определены, если задается перечень объектов, подлежащих дешифрированию и показу на карте, т. е. задается легенда как список понятий (дескрипторов) и таблица условных знаков. Каждый факт применяется к готовой шкале и находит свое место, а если не находит, то исключается как не несущий информации. Конечно, можно обнаружить и обратное влияние. С развитием аэрофототопографии и аэрокосмической картографии системы условных знаков претерпели значительные изменения, связанные, в частности, с особенностями изображения на снимках.

Процесс дешифрирования становится более сложным, когда клас-

сификация полученных данных сама является искомой. В этом случае порядок обобщения имеет многоступенчатый характер. С получением каждого нового факта совершенствуется и классификация, приходится производить ее модернизацию. Процесс генерализации при этом включает два попеременно действующих фактора: установление норм отбора и обобщения и сам отбор и обобщение. Непрерывно уточняются также и перечень понятий, и условные знаки.

Такого рода ситуация возникает, когда создаются тематические карты нового содержания и в непривычной области исследований. С этим приходится сталкиваться, например, при экологическом картографировании с использованием аэро- и космических снимков.

Генерализация при аэрокосмическом картографировании имеет несколько особенностей, обусловленных тем, что, во-первых, масштаб снимков, как правило, не совпадает с масштабом создаваемой карты; во-вторых, изображение на снимках разномасштабно и перспективно; в-третьих, изображение на снимках уже определенным образом обобщено по законам, отличным от картографической генерализации, и, следовательно, нужно делать «перегенерализацию».

Выбирая масштаб снимков, мы по существу выбираем изображение с нужной степенью содержательной и формальной обобщенности. Очевидно, снимки должны выбираться таких масштабов, чтобы можно было дешифрировать с наибольшей полнотой и достоверностью максимальное число интересующих нас объектов и выявить необходимые природные закономерности. С другой стороны, масштаб снимков желательно иметь равным масштабу карты, чтобы при переходе к карте не требовалось производить значительное обобщение. Удобно также иметь снимки такого масштаба, при котором обобщенность изображения на снимках соответствовала бы требуемой генерализации содержания карты. Трудность заключается в том, что практически невозможно найти такие снимки, которые одновременно были бы равного с картой масштаба, соответствовали ей по степени содержательного и метрического обобщения и к тому же имели максимальную дешифрируемость. После того как в руках ученых и практиков появились разнообразные космические снимки, к тому же повысилось их разрешение, стал использоваться более широкий круг масштабов. Чаще для картографирования используются комплекты многозональных и разномасштабных снимков.

Как уже ранее было показано, не существует абсолютно высокой и абсолютно низкой дешифрируемости. Все зависит от задачи, которую предстоит решить. Допустимая разномасштабность снимков и созда-

ваемых по ним карт определяется двумя обстоятельствами: дешифрируемостью снимков и возможностью графического воспроизведения результатов. Разница в масштабах практически не будет иметь значения, если она не вызывает изменения длин линий более чем на 0,2 мм. При работе на отдельных снимках максимальная длина отрезков равна примерно 14 см, так как дешифрирование ведется в центральной части снимков. Расчеты показывают, что при этих условиях допустимая разномасштабность снимков и карт ничтожно мала. Она значительно меньше той внутренней разномасштабности, которая возникает из-за влияния рельефа, наклона снимков, кривизны поверхности Земли и по другим, в том числе техническим причинам.

Разномасштабность изображения на снимках визуальное воспринимается либо с трудом, либо вовсе не воспринимается. Этому препятствуют нерегулярность и дробность контуров и отсутствие сравнимых эталонных объектов, чьи натуральные размеры известны. Точно также даже значительная перспективность, например космических снимков, может не восприниматься визуальное и обнаруживается только при привязке к карте. Стереоскопическое рассматривание снимков не делает разномасштабность заметнее. Хотя наличие хорошо выраженного рельефа заставляет предполагать разномасштабность изображения; но при этом нужно помнить о вертикальном преувеличении стереомодели. Внутреннюю разномасштабность снимков можно сделать наглядной, если разные по масштабу участки пометить отрезками или фигурами (квадратами, окружностями), имеющими в натуре равную величину. Чем больше разномасштабность, тем эффективнее этот прием.

Увеличение и уменьшение размеров контуров с изменением масштаба изображения происходят прогрессивно и выражаются формулами

$$L_2 = L_1(1 \pm K_m), \quad S_2 = S_1(1 \pm 2K_m),$$

где L_1 и L_2 , S_1 и S_2 — соответственно равные в натуре длины отрезков или площади контуров в разномасштабных частях снимка; K_m — коэффициент разномасштабности, равный $\frac{\Delta m}{m}$.

Отсюда получим формулы, выражающие связь между коэффициентом разномасштабности и искажением площади или длины отрезка на снимке:

$$K_m = \frac{\Delta S}{2S} = \frac{\Delta L}{L}.$$

Графически эта зависимость выражается равнобочной гиперболой. Отсюда следует, что разномасштабность проще обнаружить, сравни-

вая крупные фигуры. Это значит также, что объекты малых размеров реагируют на колебания масштаба слабее, чем крупные.

Основной причиной внутренней разномасштабности снимков, особенно крупного и среднего масштабов, является рельеф, влияние которого определенным образом связано с высотой фотографирования и фокусным расстоянием объектива фотоаппарата. Рассматривая геометрические свойства снимков, мы уже говорили о полезной площади снимков, практически свободной от искажения за счет рельефа и кривизны поверхности Земли. В действительности дешифрирование чаще всего приходится вести и за пределами полезной площади. Иногда даже полезно по ходу работы рассматривать перспективное изображение местности на краю снимка. Вычерчивать же результаты дешифрирования следует в пределах полезной площади или там, где изображение ближе всего к ортогональной проекции. В аэрофототопографической практике, при универсальном картографировании отдешифрированные контуры затем проецируют на графический план, трассируя марку по наблюдаемой стереомодели. При дифференцированной технологии контурная часть будущей карты проводится на фото- или ортофотопланах. Но в географической и геологической практике чаще всего приходится дешифрировать снимки, как они есть, и поэтому нужно иметь в виду ошибки, которые при этом допускаются.

Однако во всех случаях картографическое изображение, полученное в результате дешифрирования снимков и генерализованное по существующим правилам, должно сохранить определенные соотношения с изображением на снимках и с действительностью. На карте должно сохраниться правильное соотношение площадей и изрезанности ареалов. Упрощение изображения не должно исказить его типичные черты. Вместе с тем в результате генерализации не должна быть потеряна точность в положении контуров. Наконец, местность в целом должна быть передана графически правдоподобно.

10.4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Возможны различные пути использования снимков при создании карт. Выбор технологии определяется имеющимися материалами съемки, наличием соответствующего оборудования, профессиональной подготовкой исполнителей, а также тем, какая именно карта составляется. Сложность и трудоемкость разных способов картографирования

неодинакова. В каждом конкретном случае стараются выбрать наиболее простой способ исполнения работ, получить надежную карту при минимальных затратах на ее изготовление.

Хорошо известны теоретически разработанные и практически освоенные три метода аэрофототопографического картографирования: *комбинированный*, *дифференцированный* и *универсальный*. Все они рассматриваются в общем курсе «Основы геодезии и топографии» и специальных курсах «Фотограмметрия» и «Аэрокосмическая картографии». Здесь для сравнения мы только кратко опишем суть методов.

Комбинированная технология используется в полевой, натурной съемке, при которой дешифрирование снимков продлевается одновременно с графической съемкой. Суть комбинированной аэрофототопографической съемки заключается в том, что она ведется с помощью мензулы, но не на чистом листе бумаги, а на монтаже из аэрофотоснимков — фотоплане. Это упрощает процедуру съемки, так как она отчасти заменяется прямым дешифрированием фотоизображения. Технологическая схема комбинированной съемки включает в себя: геодезические работы и аэрофотосъемку, планово-высотную привязку снимков, фотограмметрическое сгущение геодезических сетей путем развития плановой фототриангуляции (см. гл. 3), трансформирование снимков, составление фотоплана, развитие съемочной сети и полевую съемку рельефа и дешифрирование.

Дифференцированный метод стереотопографической съемки заключается в раздельном создании плановой и высотной геодезической основы, необходимой для рисовки рельефа и составления фотоплана, и полевого и камерального дешифрирования аэрофотоснимков. Затем результаты этих работ сводятся на составительском оригинале топокарты.

Универсальная технология основана на определении размеров и формы заснятой местности по ее пространственной модели (стереомодели), построенной с опорой на геодезическую плановую и высотную основу на универсальных стереофотограмметрических приборах: стереопроекторе СПР, стереографе СД, СЦ или других более современных.

На универсальных стереоприборах воспроизводится геометрическая схема съемки путем проецирования фотографий двух или более смежных перекрывающихся снимков. Используя стереомодель местности, оптико-механическим путем определяют пространственные координаты точек местности или отмечают эти точки и линии непосред-

ственно на графическом плане. При этом дешифрирование составляет часть единого трудно делимого процесса создания карты.

Таким образом, при универсальном методе преобразование снимков в карту осуществляется комплексно на одном стереоприборе, обычно одним исполнителем. Достоинство универсальной технологии в высокой точности получаемой карты, но метод трудоемок и требует высокой квалификации исполнителей — картографов или фотограмметристов.

Перечисленные методы создания карт по снимкам соответствуют трем этапам развития аэрофототопографии. Если комбинированная съемка производилась известными способами мензульной съемки, то дифференцированная и универсальная технологии предполагают использование все более сложных стереоизмерительных приборов и высококвалифицированных исполнителей. Все три метода разработаны и апробированы для создания топографических карт по аэрофотоснимкам примерно равных крупных масштабов. Каждая новая технология сокращала объем необходимых полевых работ, но в то же время усиливала требования к профессионализму картографа-фотограмметриста.

С появлением цифровой съемки и соответствующих разделов фотограмметрии появился четвертый этап развития аэрокосмической картографии. Цифровая съемка сейчас — основной путь эффективного решения многих картографических проблем, и в первую очередь покрытие Земли топографическими картами.

Вместе с тем традиционные аэрофототопографические методы начинают использоваться для создания крупномасштабных карт специального и тематического содержания, например: топографо-гляциологических и ландшафтных, экологических и других. Было даже высказано предположение о создании к каждой топографической карте карт-спутников того же масштаба со специальным содержанием: геоморфологических, гидрологических и т. д.

При тематическом географическом картографировании (ландшафтном, почвенном и др.) часто применяется технология с использованием картографической основы, так называемое *раздельное создание карт*. Этот способ сравнительно прост в исполнении и позволяет использовать снимки и основу с большой разницей в масштабах и проекциях. Он одинаково пригоден для картографирования по аэрофотографическим и космическим снимкам. Готовая картографическая основа удобна при создании, например, геоморфологических, геологических, геофизических и экологических карт.

Готовая основа может использоваться в поле и камерально. Непосредственно в поле результаты дешифрирования сразу наносятся не на снимки, а на карты или схемы, например схемы землепользования или лесоустройства. Так создается графическая основа — графический макет будущей карты, или предкарта. Такой методики придерживаются, например, почвоведы при почвенном картографировании в крупных и средних масштабах. Однако значительно чаще этот метод создания карты делится на полевое дешифрирование и камеральное составление карты на готовой основе.

По содержанию основа может быть проще будущей карты, что допустимо, если предстоит уменьшение составительского оригинала карты; основа может соответствовать по общегеографическому содержанию и уровню обобщенности будущей карте, она может быть детальнее будущей карты и содержать ряд элементов, которые нужны только в качестве опоры для географически достоверного и точного нанесения и увязки результатов дешифрирования. Например, при создании ландшафтных карт удобно на основе сохранять или создавать, если основа делается по снимкам, детальное изображение рельефа в горизонталях — ландшафтная карта получается более надежной. Аналогичным образом при увязке результатов дешифрирования почв может оказаться полезным сохранять на основе детальное изображение гидрографической сети, но на оригинале карты ее генерализировать.

Перенос результатов дешифрирования со снимков на картографическую основу производится различными способами. Но во всех случаях должна быть обеспечена геодезическая или географическая привязка снимков к карте.

Глазомерный перенос результатов дешифрирования с отдельных снимков на фотоплан может производиться прямо по идентичным контурам. Задача облегчается, если фотоплан составлен из снимков того же залета, на котором производилось дешифрирование. Однако значительно чаще используется графическая основа, отличающаяся от снимков и обобщением содержания и масштабом. Кроме того, если для дешифрирования используются нетрансформированные снимки, одновременно с переносом ситуации со снимков на основу приходится делать трансформирование.

Способы переноса результатов дешифрирования на основу можно разделить на пять видов:

- 1) графические способы: построение перспективных сеток, засечки обычным и пропорциональным циркулем и др.;
- 2) графомеханические способы: пантографирование и пр.;
- 3) графооптические способы с использованием оптических панто-

графов, стереоскоп-пантографов, оптических рисовальных приборов и т. д.;

4) оптико-механические способы с использованием картографических и других проекторов и фототрансформаторов;

5) электронные системы считывания и воспроизведения в нужном масштабе и проекции как составная часть компьютерного картографирования.

Самым старым и простым, но в то же время наиболее гибким является способ переноса рисунка с отдешифрированного снимка на картографическую основу «по клеткам». Построение перспективной сетки может быть сделано весьма элементарным способом по четырем опорным точкам, найденным на снимке и основе. Четырехугольный полигон разбивается на сеть подобных ему фигур, по которым на глаз перерисовывается ситуация. Способ удобен, но его использование ограничено случаями, когда трансформирование изображения на снимке не нуждается в исправлении за наклон и вся задача сводится к изменению масштаба изображения.

В случае необходимости при переносе изображения делать его полное трансформирование: учитывать не только изменение масштаба, но и направление искажений из-за перспективности изображения на снимке, могут быть построены перспективные сетки, например, по элементам ориентирования: высоте съемки, углу наклона снимка, фокусному расстоянию объектива АФА. Задавшись определенным масштабом будущей карты, можно вычислить размеры трапеции и затем построить квадратную сетку на плане и ей соответствующую сетку на снимке. Эту же задачу можно решить целиком графически. Однако некоторая сложность графических построений затрудняет широкое использование этих способов.

Графический перенос с одновременным трансформированием изображения производится при помощи перспективных сеток. На снимке наносят сеть пересекающихся прямых линий, а на основе строят им соответствующую (коллинеарную) сетку. Построение перспективных сеток основано на законе линейной перспективы, согласно которому всякой прямой на местности соответствует прямая на фотоснимке. Поэтому прямая, проведенная на снимке через точки равных высот, изобразится на плане прямой. Способ применим к равнинной местности, где нет искажающего влияния рельефа. Точно так же не должно быть искажений из-за кривизны поверхности Земли. Поэтому способ перспективных сеток годится для работы со снимками сравнительного крупного масштаба.

Перенос результатов дешифрирования с космических снимков на основу должен производиться по сетке меридианов и параллелей. При этом одновременно будет происходить изменение масштаба изображения в соответствии с свойствами избранной картографической проекции и переход к ней от внешней перспективной проекции, в которой получаются кадровые космические фотографические снимки, например Земли. Сетка меридианов и параллелей для снимка рассчитывается по элементам внешнего ориентирования ИСЗ и накладывается на снимок по основным контурам, преимущественно береговой линии и гидрографической сети. Такая перерисовка отдешифрированных контуров, изобразившихся на снимке в одной проекции, на основу, построенную в другой картографической проекции, — один из вариантов распространенного в практической картографии способа составления карт различного содержания, не только географических.

Перенос результатов дешифрирования *способами прямых и обратных засечек* производится из любых точек, распознающихся на снимках и картах. Для этой цели удобно использовать пропорциональный циркуль, так как практически всегда возникают затруднения при переходе от масштаба снимков к масштабу карты.

Графомеханические способы переноса рисунка со снимка на планшет или карту основаны на использовании пантографов. Как и в других случаях переноса результатов дешифрирования, при работе с пантографом необходимо опираться на точки, распознанные на снимках и карте, что позволит их взаимно ориентировать. Пантографирование может успешно применяться при работе с уменьшением картинки до 4 раз. При этом исправления изображения за наклон снимков пантографирование не позволяет осуществить.

Для переноса большого количества контуров удобно использовать оптические приборы, позволяющие визуально совмещать исходное изображение и основу. Такими *графомеханическими приборами* являются различные стереоскопы-пантографы, рисовальные приборы и др. Эти оптические системы позволяют одновременно рассматривать два разномасштабных изображения: снимок, или вычерченный результат дешифрирования, и карту, или картографическую основу. Изменяя положение двух изображений и оптической системы, разворачивая снимок, или основу, наблюдатель добивается совпадения идентичных точек и контуров, после чего отдешифрированные контуры переносятся на основу.

Рисовальный прибор, или *оптический пантограф*, представляет собой стойку, на которой в вертикальной плоскости крепится держатель

со снимком и осветителем. Перед снимком на подвижном кронштейне размещается наблюдательная система, включающая призму и установку для сменных линз. Внизу на столе горизонтально размещается картографическая основа, или карта. Перемещая экран со снимком и наблюдательную систему и меняя линзы, наблюдатель делает равными масштабы снимка и картосновы, а наклоняя экран со снимком, делает приближенное трансформирование. Добившись совпадения изображений контуров на снимке и основе, переносят результаты дешифрирования.

Перенос результатов дешифрирования на основу без трансформирования, но с изменением масштаба может быть проделан *на интерпретоскопе*, а также на некоторых стационарных стереоприборах, например прецизионном стереометре.

Изображения на отдешифрированном снимке (графической схеме) и основе могут быть совмещены путем проектирования одного на другое — в этом состоит суть оптико-механического способа составления оригинала карты. Различаются проекторы *диакопы*, работающие «на просвет», и *эпископы* — «на отражение». Для диакопов с отдешифрированных снимков изготавливаются диапозитивы равного или более мелкого масштаба. В процессе изготовления диапозитива может быть проведено и трансформирование изображения, но оно может быть сделано и при проектировании изображения на основу. В качестве диапроектора используется одиночный проектор, большой и малый фототрансформаторы, универсальный топографический проектор и другие приборы, обеспечивающие одновременно с проецированием изображения его трансформирование.

Эпископы позволяют проецировать изображение с непрозрачной подложки. В качестве проекторов-эпископов используются различные картографические проекторы, например: проектор картографический вертикальный, топографические проекторы (УТП-2). Они позволяют полностью трансформировать изображение.

Современная картография во все большей степени основывается на использовании электронно-вычислительной техники преимущественно в двух вариантах. Во-первых, это «картографические системы», предназначенные для профессионального производства карт, которые не нацелены на управление данными в течение длительного времени и практически лишены средств анализа. Они хорошо справляются с производством стандартных карт типа морских навигационных или топографических, где все элементы содержания известны заранее, хранятся в специальных библиотеках, и работа картографа сводится

к контролю за их верным нанесением на создаваемый лист карт. В более простом варианте такие системы позволяют автоматизировать процесс вычерчивания картографических основ и рамок карты.

Во-вторых, это *геоинформационные системы* — ГИС, которые по их возможностям делятся на три группы. Первые — это мощные, ориентированные на сетевую эксплуатацию системы, способные обрабатывать колоссальные объемы информации, имеющие разнообразные средства ввода от дигитайзеров и сканеров до станций обработки космических снимков и средства вывода, дающие практически типографское качество получаемых карт. Такие ГИС имеют универсальный характер, что позволяет применять их в различных отраслях с одинаковым успехом.

Вторую группу составляют специализированные системы, также предназначенные для рабочих станций, несколько менее мощные, чем ГИС первого типа, созданные для определенных задач, например обработки геодезических данных. В некоторых областях они достигают результатов, превосходящих аналогичные результаты универсальных систем.

Третью группу составляют настольные ГИС, работающие на персональных компьютерах, предназначенные для учебных и справочно-информационных целей.

Современные ГИС обладают также исключительными средствами совместной обработки растровых и векторных изображений (снимков и карт) — построения карт на основе космических и аэрофотоснимков.

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

b — базис съемки в масштабе снимка
 B — базис съемки
 f — фокусное расстояние
 J_a — извлеченная информация
 J_o — содержащаяся в снимках (оперативная) информация
 $\frac{1}{m}$ — масштаб
 $\frac{1}{m_k}$ — вертикальный масштаб
 $\frac{1}{m_v}$ — горизонтальный масштаб
 H — высота фотографирования
 R — радиус Земли
 t — время
 W — скорость полета самолета
 α — угол наклона снимка
 Δp — разность параллаксов
 μ — коэффициент вертикального преувеличения

Глава 1

A — альbedo
 A_λ — спектральное альbedo
 B — яркость отражающей поверхности
 B_0 — яркость матовой поверхности
 \bar{B} — средняя яркость местности
 ΔB — яркость дымки
 E — поток излучения
 E_Σ — суммарное освещение
 E_s — прямая освещенность
 E_H — рассеянная освещенность

E_r — освещенность, создаваемая рефлексами
 F — поток радиации
 F_0 — падающий поток
 r — коэффициент яркости
 r_λ — спектральный коэффициент яркости
 r_M — яркость водной поверхности
 r_1 — яркость поверхности озера, реки или моря
 r_2 — яркости толщи воды
 r_3 — яркость, обусловленная отражением от дна водоема
 T — температура поверхности объекта
 U — интервал яркостей ландшафта (контрастность)
 κ — коэффициент задымленности
 σ — характеристика излучательной способности объекта
 τ — степень уменьшения яркости объектов

Глава 2

A — длина маршрута
 C — ширина площади съемки
 d — диаметр входного зрачка объектива
 D — оптическая плотность
 E — освещенность
 E_0 — освещенность в центре кадра
 E_β — освещенность на краю снимка
 F — световой поток
 F_t — пропущенный световой поток
 F_f — падающий световой поток
 H — экспозиция
 H_a — высота полета абсолютная
 H_c — высота фотографирования истинная
 H_f — высота фотографирования средняя
 H_r — высота полета относительная
 I — сила света
 ι — угол наклона характеристической кривой
 K_a — коэффициент поглощения света стеклом
 K_r — коэффициент отражения стекла
 l — длина хода оптического луча в стекле
 L — расстояние между маршрутами
 L — фотографическая широта эмульсии
 l_1, l_2 — величины сторон кадра

- $\frac{1}{n}$ — относительное отверстие
 N — число отражающих поверхностей
 N_c — число снимков в маршруте
 N_M — число маршрутов
 O — непрозрачность
 P_1, P_2 — продольное и поперечное **перекрытия**
 R — общее число снимков, покрывающих **площадь съемки**
 S — светочувствительность
 S_m — площадь поверхности
 t_c — интервал между экспозициями
 t — время выдержки
 t_{\max} — максимально допустимая выдержка
 V_f — скорость пропуска фотопленки
 2β — угол поля изображения
 γ — коэффициент контрастности
 φ — угол отклонения от нормали
 σ — допустимая величина сдвига изображения
 2σ — угол поля зрения
 τ — коэффициент прозрачности

Глава 3

- c — точка нулевых искажений
 E — предметная плоскость
 i — главная точка схода
 l — длина отрезка на снимке
 l_c, l_k — длины отрезков на снимке **и на карте**
 L — истинная длина отрезка
 n — точка надира
 O — геометрический центр снимка
 P — плоскость снимка, картинная плоскость
 r — расстояние от главной точки снимка до **данной точки (радиус-вектор)**
 S — центр проекции, центр объектива
 T — фотографируемая плоскость
 V — плоскость главного вертикала
 δ_k — ошибка из-за кривизны поверхности Земли
 Δx — относительная ошибка величины x
 γ — угол поворота снимка

Глава 4

- \bar{d} — средняя длина хорд
 D — фрактальная размерность
 D, L — длина прямой между точками и длина извилистой между теми же точками
 K_1, K_2, K_3 — коэффициенты извилистости
 K_L — коэффициент относительной извилистости
 K_S — коэффициент изменения площадей
 \bar{l} — средняя длина дуг извилины
 n — число хорд или извилины
 n_1, n_2 — число шагов измерителя
 S_1, S_2 — шаг измерителя

Глава 5

- C — средняя разрешающая способность снимков
 C_i — понятие (объект)
 J_t — полная информация
 m — количество тонов
 n — количество элементов
 N — число равновероятных состояний
 $p(x)$ — вероятность дешифрирования того же объекта на сравниваемых снимках
 $p'(x)$ — вероятность дешифрирования объекта на эталонных снимках
 R, R_r — дешифрируемость и относительная дешифрируемость
 S — площадь снимков
 ΔJ_1 — ошибки из-за недостатка признаков
 ΔJ_2 — дезинформация (из-за совпадения или недостатка признаков)

Глава 7

- L — расстояние от глазного базиса до точки наблюдения
 b_c — базис съемки в масштабе снимка
 b_e — глазной базис
 b_t — базис прибора
 E — интенсивность ощущения
 K — порог контрастности

L_0 — предел стереоскопического восприятия глубины
 ΔE — изменение ощущения
 $\Delta \gamma$ — острота стереоскопического зрения
 γ — угол конвергенции
 ρ_0 — расстояние наилучшего зрения
 σ — бинокулярный физиологический параллакс

Глава 8

a — поправка
 B_0 — плотность изображения на урезе воды
 B_∞ — плотность изображения на большой глубине
 B_i — плотность изображения в измеряемой точке
 d — расстояние от центра модели до вершины склона
 d — проекция склона на горизонтальную плоскость
 e — основание натуральных логарифмов
 h — истинная высота объекта
 h_c — высота под стереоскопом
 h' — высота основания объекта
 \bar{h} — приближенное значение высоты объекта
 H' — высота съемки относительно основания объекта
 H_t, H_b — высоты фотографирования
 i, i' — истинный и видимый углы наклона
 K, F_i — коэффициенты
 l — длина линии на снимке
 l — глубина
 l — длина тени на снимке
 l_t и l_b — длины отрезков
 L — истинная длина линии
 L — истинная длина тени
 L' — длина тени на наклонной поверхности
 n — относительная длина тени
 p_A — параллакс точки A
 r — расстояние от точки нулевых искажений до конца отрезка
 S — площадь контура
 S_1 и S_2 — центры проектирования
 v — увеличение линз стереоскопа
 y — ордината центра снимка
 α — угол падения солнечных лучей на горизонтальную поверхность
 β — угол наклона местности в направлении падения тени

δ_h — параллактическое смещение
 Δx — относительная ошибка величины x
 $\Delta h'$ — точность определения высоты съемки
 Δh — ошибка определения высоты объекта
 Δl — абсолютная погрешность определения длины тени
 φ — угол между измеряемым отрезком и линией нулевых искажений

Глава 9

A, B, C, D, E — объекты
 \bar{A} — отрицание A
 $A \rightarrow B$ — импликация
 E — надежность дешифрирования
 K — порог контрастности
 n — общее число точек
 P_t — полнота дешифрирования
 $P_x(y)$ — полнота извлечения информации
 R — достоверность извлеченной информации
 R_t — полнота извлеченной информации
 t_c — критическое время
 t_o — оптимальное время
 x — объект
 x — трансформационные точки
 x_i и y_i — значения исследуемых явлений в точке i
 \bar{x} и \bar{y} — средние значения явлений
 y — признак
 y_{\max} — отстояние от базиса до дальней границы
 y_{\min} — отстояние от базиса до ближайшей границы
 W_0 — производительность труда
 σ_x, σ_y — дисперсии значений измеренных величин

Глава 10

K_m — коэффициент разномасштабности
 L_1, L_2 — длины отрезков
 S_1, S_2 — площади контуров

Предметный указатель

- абберация, 80, 118
 автомат регулирования экспозиции, 62, 82, 84
 адаптация, 193, 291, 296
 аккомодация, 184–186, 296
 альбедо, 30, 326
 спектральное, 31, 326
 астигматизм, 80

 базис, 186, 191, 209, 213, 216, 218, 219, 255, 331
 глазной, 186–188, 191, 199, 229, 255, 329
 наблюдателя, 255
 прибора, 187, 191, 329
 съемки, 52, 188, 191, 198, 199, 209, 211, 215, 222, 230, 254, 326, 329
 фотографирования, 255
 бумага
 фотографическая, 97–100, 113, 241
 бромосеребряная, 95
 гляцевая, 95, 239
 контрастная, 98
 матовая, 239, 249
 мягкая, 98
 позитивная, 101
 с полупроводниковым слоем, 103
 цветная, 96, 142

 вертикаль
 главная, 108, 109

 время
 съемки, 38, 41–44
 выдержка, 51, 52, 69, 84, 91, 98, 118, 119, 328

 генерализация, 129, 131, 134, 137, 237, 300, 312–316, 318
 геометрическая, 304
 естественная, 128
 картографическая, 128, 129, 136, 137, 304, 312–314, 316
 селектирующая, 128
 содержательная, 128, 304
 стимулирующая, 128
 уровень, 129, 311
 форм, 314
 формальная, 128
 фотографическая, 128–130, 134
 геоинформационная система, 5, 70, 146, 307, 325
 гиросtabilизирующая установка, 84
 главный вертикаль, 109, 328
 горизонталь, 75, 109, 248, 261, 321
 главная, 108

 дескриптор, 156, 281, 315
 дешифрирование, 12
 автоматизация, 146, 177, 281, 283, 304
 автоматизированное, 283, 284, 309, 311

 автоматическое, 268, 284
 аэровизуальное, 257, 258, 296
 визуальное, 160, 199, 268, 284, 286, 296
 географическое
 отраслевое, 161
 геологическое, 161, 302
 измерительное, 160, 268–270
 индикационное, 179, 180
 камеральное, 160, 167, 257–260, 264, 265, 268, 285, 286, 293, 294, 321
 логическое, 260
 систематическое, 260
 компьютерное, 146, 304
 косвенное, 132, 181, 261, 269, 286, 294, 296
 морфометрическое, 25, 270, 271
 непосредственное, 176
 объективизация, 177, 273
 полевое, 160, 258, 264, 278, 285, 321
 прямое, 139, 176
 синоптическое, 149
 тематическое, 145, 168, 259, 262, 265, 286, 306
 типологическое, 39
 топографическое, 41, 174, 262, 286, 288
 полевое, 293
 фотометрическое, 25, 268, 270–272
 эталонное, 160, 264–267, 289
 дисторсия, 80, 118, 119
 дифракция, 143
 дымка, 36, 37, 65, 149
 атмосферная, 36, 37, 93
 воздушная, 36, 94
 промышленная, 36
 пылевая, 36, 37
 яркость, 36, 326

 жалюзи, 84
 роторный, 84, 86
 центральный, 84, 86
 шторный, 84
 щель, 88

 зрение
 бинокулярное, 186
 моноккулярное, 186
 наилучшего расстояние, 199, 229, 261
 острота, 185, 263, 264
 стереоскопическое, 187
 глубина, 296
 острота, 187, 188, 330
 порог глубины, 188
 радиус, 187

 иллюзия
 зрительная, 197, 198, 295
 контрастов, 198
 меняющегося рельефа, 198
 неустойчивая, 197
 объемности, 197
 оптическая, 295
 психологическая, 197
 рельефности, 261
 устойчивая, 198
 эфемерная, 197
 эффект присутствия, 295
 индикатор, 132, 179–181, 269, 270, 277, 281, 295, 315
 индикация, 77, 167, 179–181, 271
 интервал
 времени, 61, 241, 290, 295, 297, 298, 328
 между съемками, 43
 между циклами работы, 84
 между экспозициями, 52, 82, 84, 142
 длин волн, 31, 122
 количества освещения, 93
 оптической плотности, 34, 93
 яркости, 34, 93, 98, 327

 затвор, 62, 64, 68, 69, 83, 84, 91

- интерпретация, 7, 9, 22, 26, 38, 44, 139, 144, 167, 252, 268, 273, 283, 302
- интерпретоскоп, 192, 261, 262, 324
- информация, 12, 22, 65, 69, 75, 77, 139, 140, 156, 158, 163–165, 172, 175–177, 185, 283, 285, 290–292, 294, 296, 297, 299, 308, 311–315
- достоверная, 13
- единица, 156
- извлеченная, 138, 144, 161, 172, 175, 177, 183, 288, 290, 293, 296, 298, 313
- источник, 15, 309
- исходная, 70
- метеорологическая, 284
- носитель, 303
- обработка, 14, 144, 285
- объем, 155–158, 169, 290, 325
- оперативная, 153, 158
- отсев, 139
- первичная, 13, 24, 164
- полная, 290
- получаемая, 153, 283
- полученная, 70, 87, 304
- прирост, 153
- служебная, 83
- содержащаяся в снимках, 288
- упорядочение, 266
- фильтрация, 283
- хранение, 267
- элементарный носитель, 155
- искусственный спутник Земли, 10, 21, 22, 55–61, 64–66, 69–72, 86, 144, 256, 323
- автоматизированный, 22
- автоматический, 22, 57
- астрономический, 56
- геодезический, 56
- геостационарный, 57, 66
- геофизический, 56
- глобальная система позиционирования, 56
- исследовательский, 56
- метеорологический, 21, 56, 57, 59–61, 68, 307
- навигационный, 56
- околополярный, 57
- радиолокационный, 74
- ресурсный, 22, 56–58, 60, 61, 89, 188
- связи, 56, 60, 61
- специализированный, 56, 58
- стационарный, 61
- технический, 56
- экваториальный, 59
- кассета, 82–84, 86, 88, 89, 111, 112, 119, 221, 246
- конвергенция, 186
- контраст, 34, 93, 99, 103, 145, 177, 185, 188
- изображения, 135, 144
- ландшафта, 34, 36, 241
- оптический, 130, 193
- освещенности, 29
- польный, 99
- световой, 198
- тепловой, 34
- тонов, 195, 198, 272
- фотоизображения, 30
- цветовой, 39, 89, 96, 135, 195, 196
- контрастности
- порог, 193, 194
- контрастность, 36, 90, 140, 263, 327
- пленки, 93
- порог, 297, 329
- регулировка, 99
- степень, 93
- фотобумаги, 95
- эмульсий, 93
- коррекция, 96, 145, 292
- геометрическая, 118, 119, 145

- скорость, 292
- цветовая, 146
- яркостная, 145
- коэффициент
- F , 231, 330
- K , 228, 330
- вертикального преувеличения, 208, 326
- вертикального увеличения, 199
- задымленности, 36, 327
- извилистости, 135, 136, 138, 329
- изменения, 136
- общей, 136, 137
- относительной, 136, 329
- изменения площадей, 136, 329
- контрастности, 93, 328
- корреляции, 178, 269
- отражения, 80, 327
- поглощения, 80, 91, 327
- прозрачности, 80, 328
- пропускания, 91
- разномасштабности, 317, 331
- яркости, 30, 31, 327
- спектральный, 31, 32, 327
- кривая
- баллистическая, 21, 58
- встречаемости, 271
- дешифрируемости, 153, 154, 158
- объема информации, 157, 158
- поглощения, 35
- светочувствительности, 171
- спектральной яркости, 76
- спектральной светочувствительности, 94
- спектральной яркости, 32
- характеристическая, 91–93, 327
- хода плотности, 273
- хода яркостей, 76
- частоты, 271
- линейка
- параллактическая, 209, 218, 219, 252
- метка
- координатная, 84, 88, 108
- модель, 163, 164
- виртуальная, 312
- геометрическая, 125
- двухмерная, 166
- динамическая, 165
- знаковая, 165
- интуитивная, 165
- математическая, 165
- мысленная, 165
- объемная, 166
- первичная, 165
- пространственная, 319
- рельефная, 75, 165
- стерео, 88, 165, 166, 191, 317–319
- стереоскопическая, 189, 191, 192, 198, 199, 207, 208, 215, 218, 220, 222, 223, 229, 230, 247, 254, 262
- физическая, 165
- монтаж
- качество, 243
- накидной, 55
- репродукция, 55, 238, 241
- несовпадение контуров, 242
- снимков, 7, 145, 146, 179, 238, 241, 243, 244, 247, 294, 319
- точность, 243
- наглядность
- материала, 285
- рисунка, 253
- снимков, 133, 138, 149, 150
- фотографии, 253

облик
 ландшафта, 122, 180
 местности, 15, 171
 объектив, 10, 63, 64, 69, 78–83,
 88, 91, 100, 102, 105, 112,
 119, 188, 211, 239, 241
 входной зрачек, 79, 327
 длиннофокусный, 78, 80
 затвор, 69
 зеркальный, 64
 качающийся, 88
 кварцевый, 11, 75
 короткофокусный, 78, 80
 линзовый, 68, 119
 малосветосильный, 79
 нормальный, 79
 оптическая ось, 108
 относительное отверстие, 84
 поле зрения, 79
 с затвором, 62
 светосильный, 79
 смешный, 49, 89
 теле-, 79
 узкоугольный, 79
 фокальная плоскость, 88
 фотографический, 78
 центр, 108, 328
 центр проектирования, 107
 широкоугольный, 79, 116
 орбита, 58, 74, 188, 244
 высота, 61, 66
 гелиосинхронная, 60
 геостационарная, 57, 66
 ИСЗ, 22, 56–61, 144, 256
 квазиполярная, 59
 круговая, 57, 60
 наклонная, 59
 остовная, 87
 параметры, 61
 плоскость, 60
 полярная, 59, 60
 форма, 60, 61
 экваториальная, 59, 60
 эллиптическая, 60
 ориентирование
 ИСЗ, 323
 орбиты, 60
 отрезка, 203
 склона, 29, 34, 205
 снимков, 69, 110, 111, 144,
 189–191, 198, 215, 216,
 219, 220, 222, 249, 262,
 322
 стереопары, 222
 элементов текстуры, 270
 ортоскопия, 78, 80
 ортофотоплан, 318
 ортофотопроектор, 115, 116
 ортофототрансформатор, 115
 освещенность
 прямая, 28–30
 рассеянная, 28, 29
 рефлексов, 28
 суммарная, 28
 ось
 абсцисс, 92
 зрительная, 185
 координат, 109
 масштабов, 155
 оптическая, 53, 62, 84, 105,
 109, 217, 310
 перспективы, 108
 симметрии, 171
 параллакс, 218, 222
 бикулярный физиологиче-
 ский, 186, 330
 поперечный, 215, 220
 продольный, 211, 212, 220,
 221
 точки, 212, 221, 231, 330
 параллаксометр, 192, 220, 222
 параллактический винт, 221, 222
 параллактический сдвиг, 217, 242,
 308, 311

параллактическое смещение, 211,
 223–225
 печать
 снимков, 95–98, 103, 140, 141,
 237
 «сэндвич», 141
 двухзональная, 141
 контактная, 97–99
 контурная, 140
 массовая, 98
 многократная, 142
 проекционная, 97, 100, 102
 с перезкой маской, 99, 140
 фотографическая, 103, 140
 цветных, 96, 102
 через растр, 142
 эквиденситная, 141, 142
 эквиденситная с масками,
 142
 пластина
 изображения, 195
 удельная прибора, 187
 пластина
 параллактическая, 209, 218–
 220
 фотографическая, 15, 75, 81,
 99, 239
 полупроводниковая, 66
 поверхность
 глазного дна, 184
 глянцевая, 252, 264
 зеркальная, 33
 иссеченная, 33, 34
 комбинированная, 33, 34
 маркирование, 231
 матовая, 30, 239, 326
 ортотропная, 33
 относимости, 205, 308, 311
 отражающая, 30, 71, 80, 123,
 326, 328
 подстилающая, 28, 67, 73
 уровенная, 51, 108
 хрусталика, 184
 прибор
 астрономический, 56
 графомеханический, 323
 измерительный, 268
 командный, 82–84
 копировальный, 97–99
 оптический, 187, 190, 191,
 263, 268, 323
 оптического проектирования,
 222
 офотограмметрический, 19
 проявочный, 97
 рисовальный, 322, 323
 с зарядовой связью, 68
 синтезирующие, 100, 101
 стереоизмерительный, 209,
 213, 215, 217, 218, 220,
 247, 320
 стереокартографический, 190
 стереоскопический, 262, 290
 стереофотограмметрический,
 21, 81, 116, 192, 206, 247,
 319, 320, 324
 стереоскопический, 268
 стереофотограмметрический,
 222
 увеличительный, 268
 фотограмметрический, 209,
 263
 фотоизмерительный, 18
 фотометрический, 261
 цифровой съемки, 307
 электроно-копировальный,
 100
 признаки
 дешифрирования
 прямые, 33
 проектор, 190, 222, 324
 диаскоп, 324
 картографический, 322, 324
 вертикальный, 324
 топографический, 324
 цветосинтезирующий, 100,

- 102
 епископ, 324
 проекция, 118, 320, 322
 картографическая, 145, 206, 311, 323
 ортогональная, 113, 116, 311, 318
 перспективная, 118, 311, 323
 склона, 209, 330
 траектории ИСЗ, 60
 трансформирование, 138, 145, 244
 центр, 105, 108, 328
 центральная, 17, 69, 107, 108, 116, 311
- разность параллаксов, 209, 211–213, 215, 218, 220, 222, 231, 255, 326
- рефлекс, 28, 327
- решетка
 дифракционная, 143
- рисунок
 изображения, 40
- самолет
 -лаборатория, 48
 АН-2, 47
 АН-26, 48
 АН-3, 47
 АН-30, 47
 АН-6, 47
 аэросъемочный, 10, 18, 19, 32, 34, 36, 46–49, 54, 66, 70, 72, 75, 76, 82, 84, 89
 мини-, 46, 49
 вибрация, 84, 119
 ИЛ-14, 47, 48
 ИЛ-14-ФКМ, 47
 покачивание, 119, 120
 скорость, 52, 55, 88, 120, 326
 снос, 54, 120, 191
 ТУ-134 СХ, 48
- интенсивность, 263
 опорный пучок, 75
 отраженный, 33, 75, 80, 80
 падающий, 30, 69, 263
 поглощенный, 35
 поток, 28, 33, 90, 91, 327
 падающий, 91, 327
 пропущенный, 91, 327
 прямой, 29, 263
 рассеянный, 28–30, 34–36
 сила, 327
- светосила, 51, 78, 79
 светотень, 34, 123, 195–197, 252, 261
 светофильтр, 37, 78, 82, 83, 94–96, 101, 102, 141, 142, 222
 -компенсационный, 94
 -коррекционный, 96, 102
 -селективный, 95
- светочувствительная клетка, 183
 светочувствительная сетчатка, 172
- светочувствительность, 328
 общая, 91
 пленки, 9, 82, 84, 89, 91, 92
 спектральная, 90, 94
 эмульсии, 94
- светочувствительный слой, 15, 89–91, 93, 95, 96, 102, 103, 141
- светочувствительный элемент, 64, 183, 184
- сенситометрия, 90, 91
- станция
 космическая, 22, 56, 57, 71, 86, 87, 89, 256
 автоматическая, 57
 международная, 22, 58
 орбитальная, 61, 89
 пилотируемая, 21
 межпланетная, 21, 55
 автоматическая, 63
 наблюдения, 253

- обработки космических снимков, 325
- орбитальная, 55, 58, 76
 пилотируемая, 87
 рабочая, 325
 радиолокационная, 71
- стереограф, 222, 223
 стереокомпаратор, 18, 215, 220, 221, 247
 стереометр, 209, 221, 222, 324
 стереопара, 214–216, 218, 222, 230
 стереопроектор, 222, 223, 319
 стереоскоп, 190–193, 198, 199, 209, 216–222, 228–230, 244, 245, 252, 261, 263, 294, 295, 330
 -пантограф, 322, 323
 для камеральных работ, 192
 для полевых работ, 192
 зеркальный, 18, 191, 221
 измерительный, 192
 карманный, 252
 линзово-зеркальный, 191, 221, 261
 линзовый, 191, 252
 призмепозеркальный, 192
- стереозффект, 188, 189, 191–193, 198, 262
- структура изображения, 122–125, 127, 129, 131, 132, 170, 176, 196, 251, 266, 270–272, 306
- геометрическая, 124
 контурная, 124, 128
 линейная, 146
 тональная, 37, 124, 128, 140
 цветовая, 123
- съемка, 7
 абсорбционная, 77
 активная, 10, 13
 аэро, 14
 аэрокосмическая, 4, 11, 15, 21, 46, 152, 308
- аэрофото, 12, 14, 18–20, 37, 41, 44, 49–51, 54, 72, 134, 149, 171, 241, 319
 аэрофототопографическая, 81, 104, 319
 бестеневая, 37
 воздушная, 7, 19, 20, 36, 38, 41, 43, 44, 46, 49, 51, 85, 94, 144, 188, 236, 238
 гамма-излучения, 77
 геоботаническая, 11
 геологическая, 11
 геофизическая, 11, 47, 48, 54, 77
 глазомерная, 255
 голографическая, 75
 гравиметрическая, 77
 графическая, 17
 дальномерная, 74
 дистанционная, 45, 312
 длинноволновая, 34
 индикатрисная, 34
 инфракрасная, 29, 34, 66, 67, 244
 комбинированная, 319, 320
 конвергентная, 217
 космическая, 7, 12, 14, 21, 22, 30, 36–38, 43, 44, 78, 85–87, 134, 188, 217, 238
 многоспектральная, 102
 крупномасштабная, 46, 84
 лазерная, 11, 74
 люминисцентная, 11, 75
 магнитная, 54, 77
 малоформатная, 89
 маршрутная, 53
 мензурная, 320
 метеорологическая, 37
 многозональная, 69, 85, 95, 178, 295
 многоканальная, 10
 многоспектральная, 57, 58
 мультиспектральная, 10, 150,

- 178, 263, 295
 наземная, 14, 17
 натурная, 319
 пассивная, 9, 13
 перспективная, 17, **53**
 плановая, 53, 81
 площадная, 53
 полевая, 319
 радарная, 196
 радиолокационная, **14, 33, 37**,
 71–73, 77
 радиотепловая, 70
 рентгеновская, 76
 синхронная, 231
 спектрозональная, 10, 11, 95,
 122
 спектрометрическая, 31, 76,
 77
 стереотопографическая, 319
 телевизионная, 11, 63
 телефотометрическая, 76
 тепловая, 11, 66, 67, 239
 активная, 74
 топографическая, 17, 54, **96**,
 235, 249, 286
 ультрафиолетовая, 75
 фото, 50
 фотографическая, 7, 9, 10,
 17–19, 41, 48, 62, 118,
 122, 144, 256
 цветная, 11
 черно-белая, 11, 86
 фотоэлектронная, 9, 118
 цветная, 28, 96, 102
 цифровая, 22, 69, 70, 77, 307,
 320
 электромагнитная, 303
 электрометрическая, 77
- текстура изображения, 122–126,
 131, 132, 170, 176, 251,
 266, 270, 272, 306
- точка
 высотная, 247
- геодезическая, 223
 главная снимка, 105, 108, 109,
 114, 202, 203, 245, 328
 главная схода, 109, 328
 контурная, 251
 марка-, 218
 наблюдения, 207, 329
 надира, 109, 113, 223, 328
 пулевых искажений, 109, 201,
 203, 328, 330
 опорная, 110–112, 144, 217,
 222, 223, 244, 245, 247,
 251, 322, 323
 ориентирующая, 110
 основания тени, 226
 плановая, 111, 246, 247
 связующая, 245
 трансформационная, **111**,
 245–247, 331
 фиксации, 186
- точность
 геометрической коррекции,
 145
 графическая картографиро-
 вания, 114, 185, 200, 240,
 289
 дешифрирования, 150, 287,
 289, 294
 измерения параллаксов, 220,
 221
 монтажа, 243
 определения высоты, 71, 107,
 200, 206, 214, 223–226,
 230, 331
 определения длины, 107, 206
 определения масштаба, 106,
 107
 определения положения, 54,
 56
 определения угла наклона,
 207, 227
 фотоизображения, 81
 фотосхемы, 243

- трансформирование, 111, 118
 графическое, 110
 дифференциальное, 115, 116
 орто, 113, 145
 полное, 322
 приближенное, 324
 снимка, 69, 109, 110, 112, 113,
 115, 138, 144, 145, 244,
 245, 247, 319, 321, 322,
 324
 фотомеханическое, 111
 тремор, 172, 185
- угол
 видимый, 208
 зрения, 64, 195
 зрения объектива, 231
 конвергенции, 186, 187, 330
 между измеряемым отрезком
 и линией пулевых иска-
 жений, 331
 наблюдаемый, 208
 наклона, 207
 видимый, 208, 330
 истинный, 209, 330
 камеры, 217
 лучей, 81
 местности, 29, 199, 207–
 209, 215, 227, 228, 331
 оптической оси, 53, 109,
 115
 орбиты, 59
 поверхности, 30
 снимка, 53, 55, 109, 201–
 204, 215, 222, 245, 322,
 326
 характеристической кри-
 вой, 93, 327
 оптимальный освещения, 196
 остроты зрения, 185
 отклонения от нормали, 328
 падения лучей, 33, 225–228,
 264
 падения радиолуча, 73
- падения солнечных лучей,
 330
 падения тепей, 196
 поворота снимка, 109, 215,
 328
 поля зрения, 78, 79, 81, 82, 86,
 184, 328
 поля изображения, 79, 328
 сноса, 54, 84
- условия
 съемки
 метеорологические, 36
- фильтрация
 изображений, 129, 144, **310**
 информации, 283
 оптическая, 142, 143
 предварительная, 283
 снимков, 21, 138–140, 142–
 144, 150, 166, 167, 282,
 283, 288, 292, 304, 305,
 312
 фотографическая, 140, 306
- фотоаппарат, 10, 50, 53, 54, 78, 83,
 85, 97, 105, 199, 200, 239,
 241, 255, 318
 аэро, 19, 22, 47, 48, 50, 51, 53,
 78, 81–85, 89, 108, 116,
 119, 196, 199–203, 206,
 208, 209, 211, 227
 длиннофокусный, 201
 малогабаритный, 82
 многообъективный, 81, 85
 однообъективный, 81
 панорамный, 87
 пластиночный, 81
 пленочный, 81
 ручной, 82, 256
 специальный, 78
 топографический, 78, **80**
 щелевой, 87, 88, 120
 аэрокосмический, 78, 79
 кадровый, 22, 62
 космический, 61, 62, 78, 86, 87

длиннофокусный, 86
 малоформатный, 49 89
 ручной, 89
 многозональный, 85
 многокамерный, 293
 панорамный 62
 широкоугольный, 34
 целевой, 62
 фотоглобус, 305, 307
 фотограмметрия, 25
 фотокарта, 305 307, 309, 311
 космическая, 307
 многоцветная, 307
 топографическая, 307
 черно-белая, 307
 фотометрия, 25, 90, 162
 спектро-, 272
 точечная, 272
 фотосхема, 146, 179, 237, 238, 242–
 244, 247–249, 286, 294,
 308
 анаглифическая, 244
 каркасная, 244
 мозаичная, 244
 приведенная, 244
 простая, 242–244
 синтезированная, 101
 стереоскопическая, 244
 уменьшенная, 55
 уточненная, 243, 244
 фототриангуляция, 245, 246
 плановая, 245, 319
 пространственная, 245, 247,
 248
 экспозиция, 52, 54, 62 82, 84, 91–
 93, 119, 142, 180, 327, 328
 эмульсия, 89–95, 97, 101–103, 142,
 327
 ортохроматическая, 94
 эргономика, 299
 эталон, 265, 266, 269, 281, 284, 286
 -иллюстрация, 305
 -информационная система, 266

-ключ 182
 -параметр 269
 дешифрирования, 121, 125,
 153, 306
 длительного использования,
 266
 зрительный 195
 полевой, 265
 полный, 266
 признаков, 265
 прямых признаков, 265, 266
 целевой, 266
 частичный, 266
 эталонирование, 266, 267
 эталонированный источник света,
 91
 эталонный объект, 317
 эталонный предмет, 197
 эталонный снимок, 153, 265, 266,
 268, 329
 эффект
 зеркального отражения, 33
 краевой, 103
 кулис, 195
 Пульфриха, 198
 псевдопластический, 141
 Саботье, 141
 Ферч, 198
 фрактальности, 131
 эффективность
 дешифрирования, 174
 азривизуального, 258
 по эталонам, 289
 последовательного, 260
 дешифрировщика, 297–299
 оперативная, 298
 фактическая, 298
 яркость, 28, 29, 35, 36, 90
 водной поверхности, 35, 327
 дна водоема, 35
 дымки, 36, 326
 изображения, 62, 68, 79, 80
 матовой поверхности, 30, 326

местности, 37, 84, 241
 средняя, 326
 обусловленная отражением от
 дна водоема, 35, 327
 объекта 31, 41, 76, 93, 122,
 146, 164, 193, 297
 отражающей поверхности, 30,
 326
 поверхности озера, реки или
 моря, 35, 327
 света, 68, 193
 слоя атмосферы, 36
 спектральная, 31, 32, 76, 122,
 146, 272
 толщи воды, 35
 фона, 193, 297
 фотохимическая, 93

Литература

1. *Азгуна Н. П., Смирнов Л. Е.* Составление фотосхем. Л.: Изд. ЛГУ, 1968.
2. *Брюханов А. В., Господинов Н. В., Книжников Ю. Ф.* Аэрокосмические методы в географических исследованиях. М.: Изд. МГУ, 1982.
3. *Верещака Т. В.* Топографические карты: научные основы содержания. М.: МАИК Недра, 2002.
4. *Гоним Г. В.* Космические снимки Земли. Л.: Недра, 1989.
5. *Григорьев А. А.* Космическая индикация ландшафтов Земли. М.: Изд. МГУ, 1975.
6. *Книжников Ю. Ф.* Основы аэрокосмических методов географических исследований. М.: Изд. МГУ, 1980.
7. *Книжников Ю. Ф.* Аэрокосмическое зондирование. М.: Изд. МГУ, 1997.
8. *Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И.* Космические методы географических исследований. М.: Изд. МГУ, 1981.
9. *Кравцова В. И.* Генерализация аэрокосмического изображения: континуальные и дискретные снимки. М.: Изд. МГУ, 2000.
10. *Савиных В. П.* Визуально-инструментальные исследования Земли с пилотируемого космического комплекса. М.: Недра, 1991.
11. *Симинев А. А.* Выбор аэрофотоаппарата и параметров аэрофотосъемки для создания топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:5000. СПб.: Изд. СПбГУ, 1999.
12. *Сердюков В. М., Попенченко Г. А., Синельников Д. А.* Аэрокосмические методы географического исследования. Киев: Выща школа, 1987.
13. *Смирнов Л. Е.* Дешифрирование аэрофотоснимков. Л.: Изд. ЛГУ, 1958.
14. *Смирнов Л. Е.* Теоретические основы и методы географического дешифрирования аэроснимков. Л.: Изд. ЛГУ, 1967.
15. *Смирнов Л. Е.* Аэрокосмические методы географических исследований. Л.: Изд. ЛГУ, 1975.
16. *Шумова О. А.* Эколого-географическое картографирование на основе аэрокосмической информации. Методическое пособие. СПб.: Изд. СПбГУ, 1998.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	4
Введение	7
0.1. Аэрокосмические методы. Понятия и термины	—
0.2. Аэрокосмические методы в географии	12
0.3. Краткая история аэрокосмических съемок	15
0.4. Аэрокосмические методы как учебная дисциплина	22
Глава 1. Природные условия съемки	28
1.1. Оптические свойства природных объектов	—
1.2. Метеорологические условия съемки	36
1.3. Сезон съемки	39
1.4. Учет многолетних изменений	43
Глава 2. Аэрокосмическая съемка	46
2.1. Воздушные летательные аппараты	—
2.2. Летно-съёмочные работы	51
2.3. Космические летательные аппараты	55
2.4. Съёмочные системы и виды съемок	62
2.5. Фотографические аппараты	78
2.6. Фотографические материалы	90
2.7. Фотографические процессы	97
Глава 3. Геометрические свойства снимков	104
3.1. Масштаб снимков	—
3.2. Основные элементы планового снимка	107
3.3. Искажения снимков из-за наклона оптической оси. Трансформирование изображений	109
3.4. Искажения снимков из-за рельефа местности. Ортотрансформирование	113
3.5. Искажения снимков из-за кривизны поверхности Земли	116
3.6. Технические факторы искажений снимков	118

Глава 4. Изобразительные свойства снимков	121
4.1. Рисунок аэрокосмического изображения	—
4.2. Закономерности обобщения аэрокосмических изображений ..	127
4.3. Преобразование и фильтрация изображений	137
4.4. Компьютерная обработка снимков	143
Глава 5. Информационные свойства снимков	147
5.1. Определение и классификация информации	—
5.2. Основные свойства информационного поля снимков	149
5.3. Дешифрируемость снимков и ее оценка	151
5.4. Информативность и информативная емкость снимков	155
Глава 6. Теоретические основы дешифрирования снимков	159
6.1. Предмет и сущность дешифрирования снимков	—
6.2. Аэрокосмический снимок как модель местности	163
6.3. Логическая структура процесса дешифрирования	166
6.4. Признаки дешифрирования	176
Глава 7. Зрение и зрительное восприятие	183
7.1. Глаз и зрение	—
7.2. Бинокулярное и стереоскопическое зрение	186
7.3. Стереоскопическое наблюдение снимков	188
7.4. Зрительное восприятие яркости и цвета	193
7.5. Зрительное восприятие пластичности изображения	195
7.6. Зрительные иллюзии	197
Глава 8. Измерение на снимках	200
8.1. Измерение длин линий	—
8.2. Измерение площадей	203
8.3. Определение углов наклона местности	207
8.4. Измерение высот объектов по разностям параллаксов	211
8.5. Стереометрические приборы	217
8.6. Определение высот объектов по параллактическим смещениям	223
8.7. Определение высот объектов по длинам теней	225
8.8. Глазомерно-стереоскопический способ измерения высот объектов	228
8.9. Измерение глубин водоемов	231

Глава 9. Технология и организация дешифрирования снимков ...	233
9.1. Технологические схемы дешифрирования снимков	—
9.2. Выбор и подготовка материалов съемок	238
9.3. Полевое дешифрирование снимков	248
9.4. Визуальные наблюдения и глазомерные съемки	255
9.5. Камеральное дешифрирование снимков ..	258
9.6. Принципы эталонного дешифрирования	264
9.7. Измерительное дешифрирование снимков	267
9.8. Объективизация процесса дешифрирования	273
9.9. Пути автоматизации дешифрирования снимков	280
9.10. Методика и организация подготовки дешифровщика	284
9.11. Надежность результатов дешифрирования	287
Глава 10. Аэрокосмическое картографирование	300
10.1. Задачи и проблемы аэрокосмического картографирования ...	—
10.2. Снимки и карты	305
10.3. Генерализация при картографировании по снимкам	312
10.4. Технологические схемы аэрокосмического картографирования	318
Основные обозначения	326
Предметный указатель	332
Литературы	343

Учебное издание

Леонид Евгеньевич Смирнов

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Учебник

Редактор *Е. А. Монахова*
Художественный редактор *Е. И. Егорова*
Обложка художника *Е. А. Соловьевой*
Верстка *А. М. Вейшторг*

Лицензия ИД №05679 от 24.08.2001

Подписано в печать 09.06.2005. Формат 60х90¹/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 21,75. Заказ №121

Издательство СПбГУ. 199034, С.-Петербург, Университетская наб., 7/9

Тел. (812) 328-96-17; факс (812) 328-44-22
E-mail: editor@unipress.ru www.unipress.ru

По вопросам реализации обращаться по адресу:
С.-Петербург, 6-я линия В.О., д. 11/21, к. 21

Телефоны: 328-77-63, 325-31-76 E-mail: post@unipress.ru

Типография Издательства СПбГУ.
199061, С.-Петербург, Средний пр., 41

ИЗДАТЕЛЬСТВО С.-ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

предлагает учебники, учебные пособия, научную и научно-популярную литературу по

*истории,
экономике,
психологии,
философии,
филологии,
языкознанию,
естественным и точным наукам*

студентам, преподавателям, научным сотрудникам, а также учителям, школьникам — всем, кому интересен мир книги.

Книги можно приобрести в магазинах Издательства, а также через отдел реализации:

199034, С.-Петербург, 6-я линия В. О., д. 11/21, к. 21
Телефоны 328-77-63, 325-31-76
E-mail. post@umipress.ru

Книги Издательского дома Санкт-Петербургского государственного университета можно приобрести в магазинах Издательства по адресам:

Магазин № 1 «Vita Nova»:

Университетская наб., 7/9
Тел 328-96-91, E-mail vitanova@it13850.spb.edu

Филиал № 2:

Петродворец, Университетский пр., 28
Тел 428-45-91

Филиал № 3:

В. О., 1-я линия, 26
Тел 328-80-40

Филиал № 5:

Петродворец, Ульяновская ул., 1
(физический факультет)

Филиал № 6 «АКМЭ»:

В. О., Менделеевская линия, дом. 5
(здание исторического и философского факультетов)

Филиал № 7:

В. О., наб. Макарова, 6
(факультет психологии)

Филиал № 8:

Университетская наб., 11
(в холле филологического факультета)

В наших магазинах Вы найдете учебную и научную литературу и других издательств по всем отраслям знаний

«КНИГА-ПОЧТОЙ»

Наша служба «Книга—почтой» предлагает широкий ассортимент научной и учебной литературы по всем университетским дисциплинам. Вы можете заказать как вышедшую, так и готовящуюся к изданию литературу более чем 100 издательств Москвы и Санкт-Петербурга. Информацию о новинках этих издательств можно найти в газете «Книжное обозрение» (подписной индекс: 50051). Мы работаем с частными лицами и организациями.

Условия оплаты — в зависимости от региона и выбора клиента.

- **СНГ, дальнее и ближнее зарубежье** — только предоплата (отправка книг заказной корреспонденцией).
- **Россия** — наложенный платеж или предоплата по выбору клиента.

В соответствии с заказом мы комплектуем ценные бандероли весом до 2 кг. В сумму оценки входит примерно 30% от стоимости заказанных книг на почтовые расходы. Отправка книг осуществляется в течение месяца после получения заказа.

E-mail: post@unipress.ru

Подробнее — на нашем сайте
www.unipress.ru