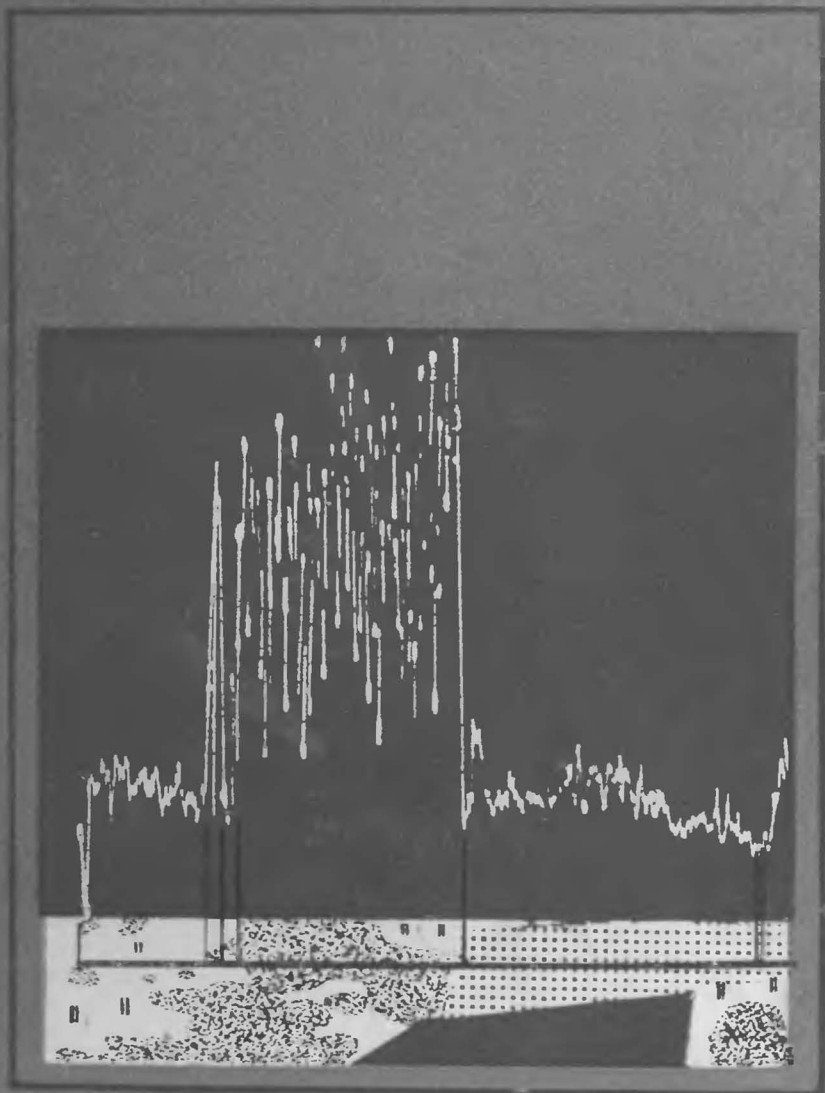


Л.А. БОГОМОЛОВ

ДЕШИФРИРОВАНИЕ АЭРОСИМКОВ



Л. А. БОГОМОЛОВ

ДЕШИФРИРОВАНИЕ АЭРОСНИМКОВ

*Допущено Министерством высшего
и среднего специального образования СССР
в качестве учебного пособия
для студентов вузов,
обучающихся по специальности
«Аэрофотогеодезия».*



Богомолов Л. А. Дешифрирование аэроснимков. М., «Недра», 1976. 145 с.

Учебное пособие составлено по программе курса «Дешифрирование аэроснимков» для специальности «Аэрофотогеодезия» институтов инженеров геодезии, аэрофото съемки и картографии. Пособие может быть использовано и для специальности «Картография» при изучении курса «Полевая картография», а также на географических факультетах университетов и в других высших учебных заведениях, где при изучении специальных курсов освещаются вопросы аэрометодов.

Пособие состоит из теоретической, методической частей и части, посвященной перспективным проблемам дешифрирования.

В теоретической части дается научное обоснование методов и организации дешифрирования. Она включает следующие вопросы: дешифрирование как информационно-логический процесс творческой деятельности человека, дешифровочные признаки, физиологические, аэрофотографические и географические основы дешифрирования.

В методической части изложены принципиальные вопросы современных производственных методов дешифрирования с целью топографического и специального картографирования. В этой части рассматриваются методы и организация топографического дешифрирования и дается понятие о методах основных видов отраслевого дешифрирования.

В части, посвященной перспективам, рассматриваются результаты опытно-исследовательских работ по повышению качества и эффективности дешифрирования. Задача этой части — познакомить студентов с тенденцией развития методов дешифрирования, которые будут в ближайшее время применяться на производстве. Перспективная часть включает следующие проблемы: преобразование и статистическая обработка аэрофотонизображения, проблема автоматизации дешифрирования, принципы дешифрирования нефотографических и космических снимков.

Табл. 14, ил. 42, список лит. — 47 назв.

Б 20702—067
043(01)—76 81—76

© Издательство «Недра», 1976

Лев Александрович Богомолов

Дешифрирование аэроснимков

Редактор издательства Л. Г. Иванова
Технический редактор Л. Г. Лаврентьева
Корректор С. В. Зинина

Сдано в набор 30/VII 1975 г. Подписано в печать 5/1 1976 г. Т-00018 Формат 60×90/16.
Бумага № 1 Печ. л. 9 Уч.-изд. л. 9,17 Тираж 10500 экз. Заказ № 1230/5160—15 Цена 33 коп.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19

Московская типография № 32 «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете
Совета Министров СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговле.
Москва, К-51, Цветной бульвар, д. 26.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Книга написана по программе курса «Дешифрирование аэроснимков», который читается на аэрофотогеодезическом факультете МИИГАиК. В ней изложены теоретические основы и производственные методы топографического и отраслевого дешифрирования. Материал излагается с учетом знаний студентов геодезии, геоморфологии, аэрофотографии, аэросъемки и фотограмметрии.

В книге освещены новые методы дешифрирования, дана принципиальная характеристика проблем, отражающих современный уровень и поисковые исследования по оптическим свойствам ландшафта, по автоматизации процесса дешифрирования аэроснимков, по извлечению максимума содержащейся в них информации, по получению дополнительной информации из нефотографических и космических снимков.

При написании книги встретились трудности, связанные с тем, что студенты аэрофотогеодезического факультета не изучают географию, без знания которой невозможно дешифрирование. В связи с этим в списке литературы предлагаются работы, отражающие географические аспекты дешифрирования.

ВВЕДЕНИЕ

Дешифрирование аэроснимков, т. е. получение информации об объектах местности (или, в более широком смысле, об объектах и явлениях географической оболочки) по их фотографическому изображению, основано на знаниях закономерностей фотографического воспроизведения их оптических и геометрических свойств, а также на знаниях закономерных взаимосвязей пространственного размещения объектов. Используемые в процессе дешифрирования аэроснимка закономерности фотографического воспроизведения и размещения объектов получили название дешифровочных признаков.

Термин «дешифрирование» — русского происхождения, несмотря на его иностранное корень. В западной литературе применяются термин «интерпретация», что по-русски означает толкование. В последние годы в советской специальной литературе все чаще стал употребляться термин «интерпретация» как синоним термина «дешифрирование».

В приведенном выше определении дешифрирования аэроснимков отражены две основы, на которых оно строится: физико-математическая (оптика и геометрия изображения) и географическая (пространственное размещение). Для дешифрирования аэроснимков требуется достаточно серьезная подготовка по аэрофотографии, фотограмметрии, геодезии, географии и картографии и в конкретной области исследования (геологии, сельском хозяйстве и др.), а также умение ориентироваться в математической статистике, теории информации и теории познания. Дешифрирование, как один из методов изучения местности по ее изображению на аэроснимках, является неразрывной частью технологического комплекса работ по созданию карт. С последним связана регистрация результатов дешифрирования в процессе съемки в графической, цифровой или текстовой форме.

В зависимости от поставленных задач дешифрирование аэроснимков подразделяется на два вида: *общее* или *комплексное* (топографическое, ландшафтное и др.) и *отраслевое* или *специальное* геологическое, сельскохозяйственное и др.). Такое деление имеет большое смысловое значение, так как оно предъявляет разные требования к методам дешифрирования и к свойствам аэроснимков. В первом случае дешифрирование является в какой-то степени сплошным, а параметры аэроснимков должны быть «усредненными». Во втором случае дешифрирование будет избирательное, а параметры аэроснимков будут конкретизированы к избранным объектам дешифрирования.

Например, спектральная сенсбилизация аэропленки в первом случае должна быть более или менее одинакова для всей регистрируемой области спектра, во втором случае должна иметь повышенную чувствительность в узкой зоне спектра, лучше передающей контрасты изучаемых объектов.

С точки зрения теории познания все методы дешифрирования можно разбить на две группы: 1) методы, основанные на принципах творческой деятельности человека (эвристических), не поддающиеся практически приемлемой алгоритмизации; 2) методы автоматического опознавания образов, основанные на алгоритмах логической обработки изображений.

В первой группе методов дешифрирование производится путем зрительного восприятия и творческой переработки информации с обычных аэросъемочных материалов визуально или с помощью оптико-механических приборов. К этой группе относятся методы, которые применяются в практике современного производства.

Для второй группы методов производят предварительное преобразование полутонного фотографического изображения в световые или электрические сигналы с помощью электронных приборов, затем кодируют их и обрабатывают закодированные изображения по правилам математической статистики и теории информации. Эта группа методов находится в стадии исследований и опытно-производственных испытаний.

С практической точки зрения эвристические методы дешифрирования можно классифицировать по месту производства и по средствам выполнения.

По месту производства дешифрирование подразделяется на *полевое* и *камеральное*. Полевое дешифрирование производят непосредственно на местности путем сопоставления аэроснимка с натурой. Метод полевого дешифрирования является наиболее надежным, но требует больших затрат времени, сил и средств. На труднодоступной территории непосредственное посещение местности часто заменяется обзором ее с летательного аппарата. Этот метод дешифрирования называется *аэровизуальным*.

Камеральное дешифрирование производят в лабораторных условиях. Преимущество этого метода состоит в его экономической эффективности. Кроме того, анализ аэроснимка проводится в условиях, обеспечивающих более внимательное и детальное изучение фотоизображения с применением более сложных стационарных приборов. Камеральное дешифрирование всегда выполняется с привлечением дополнительных материалов (справочно-картографических, отдешифрированных в натуре избранных аэроснимков и др.). Недостаток камерального дешифрирования состоит в том, что оно не может обеспечить 100-процентную полноту и достоверность полученной информации в силу специфики изображения местности на аэроснимках.

По средствам выполнения дешифрирование может быть *визуальным* и *инструментальным*. Визуальное дешифрирование заключается в непосредственном рассматривании аэроснимка. Оно является первым этапом анализа аэроснимка и, если его недостаточно для извлечения требуемой информации, то прибегают к инструментальному дешифрированию. Применение инструментов улучшает комфорт наблюдения, расширяет возможности зрительного восприятия изображения путем его оптического увеличения и стереоскопического рассматривания, обеспечивает получение количественных характеристик дешифрируемых объектов с помощью измерительных устройств. В полевых условиях инструментальное дешифрирование применяется также в тех случаях, когда нужно нанести объекты, не изображенные на аэроснимке.

В зависимости от специфики технологического процесса съемки дешифрирование выполняют или непосредственно на аэроснимках (негативах или позитивах) или на фотосхемах (фотопланах), рассматривая аэрофотоизображение в проходящем или отраженном свете. Результаты дешифрирования вычерчивают на материалах аэрофотосъемки или на наложенных на них прозрачных пластиках или на жесткой основе, просктируя на нее изображение с аэроснимка.

Потребность дешифрирования аэроснимков появилась с момента возникновения аэрофотосъемки. Во время первой мировой войны дешифрирование аэроснимков стало одним из эффективных средств разведки, аэроснимками пользовались также для исправления и дополнения топографических карт.

Уже в первые годы советской власти ставились опытно-производственные работы по внедрению аэрофотосъемки в народное хозяйство. В 30-е годы впервые были поставлены многие теоретические проблемы, которые нашли развитие в дальнейшем. В частности, были введены понятия о дешифровочных признаках и аэрофотометод, дешифрирование рассматривается как вероятностная проблема, проведены первые исследования по микрофотометрическому дешифрированию, рассматривались психофизиологические факторы дешифрирования и др. Проводились исследования измерительных и физических методов дешифрирования. Особый интерес представляют работы по изучению спектральной яркости объектов местности с целью выбора наиболее подходящей по спектральной сенсibilизации аэроплёнки. Исследования этого периода большей частью не могли быть реализованы в то время на производстве из-за отсутствия соответствующей технической базы, но они послужили фундаментом для дальнейшего совершенствования дешифрирования.

К 1938 г. аэрофотосъемка становится основным методом государственного картографирования СССР. По материалам аэрофотосъемки производится контурно-комбинированная съемка с полевым дешифрированием. Внедрение последнего сделало

топографическую карту более точной и содержательной, чем при существовавшей ранее мензульной съемке.

С 1939 г. начинается сплошное картографирование СССР в масштабе 1 : 100 000 на основе сначала дифференцированного, а позже и универсального метода съемки. Внедрение новых методов съемки позволило большой объем работы перенести в камеральные условия, что заставило развивать методы камерального дешифрирования, особенно при съемке малоисследованных районов. В последнем случае все объекты культурного ландшафта подлежали обязательному дешифрированию в поле, а большая часть объектов природного ландшафта дешифрировалась камерально по дешифровочным признакам, выявленным в натуре на избранных типичных по аэрофотоизображению участках. Внедрение камерального дешифрирования потребовало привлечения специалистов географов-картографов.

В период Великой Отечественной войны дешифрирование имело очень широкое применение. С помощью дешифрирования обнаруживались (и впоследствии подавлялись или уничтожались) с большой степенью достоверности важные элементы обороны противника, такие как противотанковые рвы и траншеи, блиндажи, огневые позиции зенитных артбатареи и минометных батарей, пулеметные гнезда и др. Результаты дешифрирования являлись основным материалом для создания специальных карт при топогеодезическом обеспечении войск.

В послевоенные годы особенно успешно развивалось нетопографическое дешифрирование, которое характеризовалось смелым внедрением камеральных методов. Разработка их основывалась на глубоком изучении взаимосвязей элементов природного ландшафта и на привлечении новых технических средств. Повышаются требования к качеству аэрофотосъемки, появляются измерительные и физические приборы для дешифрирования, внедряются аэрогеофизические и аэровизуальные методы исследований. Таким образом, специальные съемки по разработке и внедрению прогрессивных методов дешифрирования опережают топографическую съемку. Это можно объяснить спецификой съемок. В отличие от отраслевого дешифрирования, которое рассматривается как вероятностный процесс, дешифрирование для целей топографии требует 100-процентной достоверности.

Развитие теоретических исследований начиналось с накопления, систематизации и обобщения фактов по оптической характеристике ландшафтов, дешифровочным признакам, выбору оптимальных типов аэрофотоматериалов, которые имели в основном описательный и региональный характер. Затем проводились исследования по проблемам физиологии и психологии дешифрирования, информационной емкости аэроснимков, количественных методов дешифрирования, фильтрации аэрофотоизображе-

ния, основанные на солидной физико-математической и географической базе.

Технология и методика дешифрирования развивались от общих, часто расплывчатых, рекомендаций к конкретным по отраслям и регионам; от качественных к количественным методам (морфометрическим, микрофотометрическим, основанным на корреляционных зависимостях между объектами дешифрирования и др.). Большое значение имели разработка и внедрение в последние годы ландшафтного метода дешифрирования, метода дешифрирования быстро меняющихся (динамических) явлений и частных технологий отраслевого дешифрирования.

В настоящее время теоретические исследования в области дешифрирования ведутся по следующим направлениям: изучение спектральной отражательной способности объектов местности с помощью спектрометрической съемки; изучение дешифровочных признаков как с оптико-геометрической, так и с географической позиций; сравнительная дешифрируемость различных типов аэроснимков; физиологические и психологические проблемы дешифрирования и выработка критериев достоверности дешифрирования; методы оценки информационной емкости аэрофотоизображения с целью извлечения максимальной информации; дешифрирование космических и инфотографических снимков и связанная с этим проблема многомасштабной, многовременной и многоканальной съемки.

Ближайшие перспективы в развитии дешифрирования связаны с решением задач по исследованию и освоению природных ресурсов, а также по преобразованию и охране природы, по улучшению методов топографического и тематического картографирования.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ДЕШИФРИРОВАНИЯ

ПОНЯТИЕ О ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДАХ ИЗУЧЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Дешифрирование аэроснимков — один из дистанционных методов изучения окружающей среды. Под последними, применительно к нашей планете, подразумевается съемка (исследование) поверхности Земли, верхнего слоя земной коры и атмосферы с любого летательного аппарата визуально и путем регистрации приемником параметров электромагнитного и гравитационного полей и излучений.

Летательными аппаратами могут быть самолеты, вертолеты, ракеты, управляемые аэростаты, искусственные спутники Земли, пилотируемые космические корабли, автоматические космические станции.

Дистанционные методы состоят из трех этапов: 1) получение исходных материалов съемки, 2) обработка материалов съемки, 3) создание карт и некартографических материалов по обработанным материалам съемки. Обработка материалов съемки включает геодезическую (географическую) привязку их, ликвидацию или учет геометрических искажений снимков, преобразование и дешифрирование их.

Дистанционные методы подразделяются на *аэрометоды*, если съемка производится из атмосферы, и *космические методы*, если съемка производится из космоса.

В зависимости от применяемой аппаратуры дистанционные методы могут быть визуальными, фотографическими, электронными и геофизическими.

Визуальная съемка производится путем наблюдения за местностью сверху во время полета и фиксации результатов наблюдения на снимке, карте, магнитной ленте и в виде текста. Визуальные наблюдения нужны для получения общего представления о территории при планировании более детальных съемочных работ, при редактировании карт, при картографировании труднодоступных территорий и при получении сведений, которые могут быть зафиксированы и переработаны только зрительным анализатором человека.

Фотосъемка состоит в регистрации видимой и ближней инфракрасной области спектра электромагнитных излучений местности в диапазоне длин волн 0,4—1,1 мкм на светочувствительных слоях. Фотосъемка является основным методом ди-

станционной съемки из-за большого объема информации, получаемой по фотоизображению, и геометрической определенности его.

Электронная съемка состоит в регистрации большого диапазона длин волн электромагнитных излучений от нанометров до метров в виде нефотографических изображений или других видов информации. Наибольшее значение для практики картографирования имеют нефотографические изображения, получаемые при телевизионной съемке из космоса (регистрирующей видимую область спектра электромагнитных излучений), при тепловой съемке (регистрирующей тепловую область спектра длиной волн от 1 до 15 мкм) и при радарной съемке (регистрирующей радиоволны длиной от сантиметров до метров). Информационные и геометрические свойства нефотографических изображений уступают фотографиям, но за пределами видимого света они дают дополнительную информацию, отсутствующую на фотографиях. Этим определяется значение электронной съемки для цели картографирования.

Геофизическая съемка состоит в регистрации параметров электромагнитного и гравитационного полей и гамма-излучений, отражающих различные физические свойства местности в цифровой или графической форме и последующем картографировании физического явления в виде системы изолиний (изокоп, изогал и др.).

В дальнейшем основное внимание будет уделяться аэрофотосъемке и дешифрированию аэрофотоснимков. На производстве часто термины «аэроснимок» и «аэрофотоснимок» применяются как синонимы. В действительности понятие аэроснимок более широкое. Оно включает как аэрофотографическое, так и любое другое изображение, полученное из атмосферы.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АЭРОСНИМКОВ *

Дешифрирование аэроснимков с точки зрения психологии представляет собой информационно-логический процесс творческой деятельности человека в условиях недостатка или избытка информации и отсутствия заданной системы алгоритмов. Алгоритмы вырабатываются в ходе восприятия ситуации. В этом состоит трудность автоматизации процесса дешифрирования.

Недостаток информации объясняется многозначностью дешифровочных признаков и невозможностью определить некоторые свойства объектов в камеральных условиях (например, изображение одним и тем же топом разных типов растительности и грунтов, невозможность определить назначение постройки). Избыток информации связан с изображением на аэроснимках тех объектов, дешифрирование которых не вызывается необхо-

* Основным материалом для написания раздела послужила работа [40].

димостью (например, движущийся транспорт не изображается на топографической карте).

Задача дешифрирования — извлечь как можно больше с аэроснимка информации, необходимой для поставленной цели. Следовательно, результаты дешифрирования зависят от информационной емкости аэроснимка. Как же измерить информационную емкость аэроснимка?

Различают формальную, вероятностную и оценочную информационные емкости.

В основу *формальной информации* может быть положена связь ее с разрешающей способностью и контрастностью аэроснимка. Информация передается скоплением отдельно различных точек — элементарных носителей информации. Объем информации зависит от размера точек (зерен эмульсии), из которых складывается фотография, и от числа различных тонов (цветов).

Аэрофотоизображение, состоящее из n дискретных элементов (точек), каждый из которых может иметь любой из m тонов, способно принимать $N = m^n$ число различных состояний. Число N характеризует количество информации. В теории информации принято выражать информационную емкость через логарифм числа состояний, т. е.

$$I = \log N = n \log m. \quad (1)$$

Можно подсчитать число дискретных элементов фотографического изображения на аэроснимке по формуле

$$n = P(2C)^2, \quad (2)$$

где P — площадь аэроснимка, C — его средняя разрешающая способность. Если принять, как это делается в теории информации, двоичные логарифмы, то величина I будет выражена в двоичных единицах или битах. Подсчитаем по формулам (1) и (2) объем информации в битах, содержащейся в аэроснимке размером 18×18 см при разной разрешающей способности и разном количестве тонов (табл. 1).

Таблица 1

Разрешающая способность C , лин/мм	Объем информации, бит	
	$m=2$	$m=10$
5	$3 \cdot 10^9$	$10 \cdot 10^9$
11	$16 \cdot 10^9$	$50 \cdot 10^9$
18	$42 \cdot 10^9$	$133 \cdot 10^9$

Из табл. 1 видно, что количество информации аэроснимка быстро увеличивается с повышением его разрешающей способности и значительно медленнее с увеличением числа различных тонов.

Подсчитанная выше информационная емкость аэроснимка дает представление о максимально возможной емкости. Расчет по формуле (1) интересен с точки зрения выбора и совершенствования технических средств аэросъемки. Однако подсчитанное количество элементарных дискретно изобразившихся точек может иметь очень большую и очень малую смысловую информацию в зависимости от характера изображаемого ландшафта. Например, большое количество точек дает ничтожную информацию при изображении снежного покрова или однообразного растительного покрова. Для оценки смыслового значения информации гораздо большее значение имеет увеличение ее с увеличением количества тонов, чем с увеличением разрешающей способности аэроснимка. Это противоположно выводу из табл. 1. Действительно, чем больше ступеней тональности, тем больше различных коптуров может быть изображено на аэроснимке, а, следовательно, объем информации увеличится; увеличение же количества дискретных элементов одного тона не прибавляет информации.

Подсчет по формуле (1) предполагает, что все комбинации точек и тонов считаются равновероятностными. В реальных условиях для оценки информации следует учитывать, что вероятность таких комбинаций различная и зависит от характера ландшафта. В связи с этим вводится понятие *вероятностной информации*.

Количество информации, содержащееся в некотором сообщении, связано с вероятностью или частотой его появления. Если выбор производится из x сообщений, каждое из которых может быть получено с вероятностью $P(x)$, то минимальная информация, приходящаяся на одно сообщение, может быть подсчитана по известной в теории информации формуле Шеннона

$$H = - \sum_{x=1}^n P(x) \log P(x). \quad (3)$$

Величина H называется *энтропией*. Через энтропию количественно выражается неопределенность опознавания объекта. Отсюда процесс дешифрирования можно рассматривать как информационный процесс, в результате которого снимается некоторая неопределенность. Информация и энтропия связаны между собой обратной зависимостью. Информация тем больше, чем меньше неопределенность — энтропия. При отсутствии помех информация равна энтропии по абсолютному значению. На самом деле информация не равна энтропии из-за помех. Помехи выражаются так называемой условной энтропией. С учетом помех можно написать

$$I = H(x) - H_y(x), \quad (4)$$

т. е. количество информации равно разности между полной

энтропией $H(x)$ и условной энтропией $H_y(x)$. В развернутом виде формулу (4) можно написать в виде

$$I = - \sum_{x=1}^n P(x) \log P(x) + \sum_{x=1}^n P_y(x) \log P_y(x),$$

где n — число объектов, $P(x)$ — вероятность появления объекта (x), $P_y(x)$ — вероятность того, что отдешифрован объект (x) при наличии признака (y).

Учитывая, что признаков может быть несколько (m) и каждый из них появляется с некоторой степенью вероятности $P(y)$, можно написать

$$I = - \sum_{x=1}^n P(x) \log P(x) + \sum_{y=1}^m P(y) \sum_{x=1}^n P_y(x) \log P_y(x). \quad (5)$$

Вероятность $P(x)$ зависит от характера ландшафта. Например, вероятность появления солончака в пустыне больше, чем в тундре, а вероятность появления снега в тундре больше, чем в пустыне. Вероятность $P(y)$ увеличивается с уменьшением количества тонов. Так, силуэтное изображение (двухступенчатое) имеет большую вероятность, чем многоступенчатое тоновое и тем более полутоновое. Вероятность $P_y(x)$ увеличивается при увеличении суммы случаев, когда y соответствует x . Например, белым тоном изображаются снег, солончак, пляж, известняк и т. д. Знание изображаемой местности увеличивает вероятность появления того или иного объекта, изображаемого белым тоном.

Оценочная информация подразделяется на полезную, условно полезную и бесполезную. Полезной будет та информация, которая составляет цель дешифрирования. Условно полезной — те сведения, которые служат индикаторами для получения полезной информации. Бесполезной — сведения, не представляющие ценности; они называются информационным шумом. Например, для топографического дешифрирования, изображение дорог — полезная информация, подходы к броду — индикаторы для дешифрирования брода, стога сена, пераставивший снег — информационный шум.

На основании информационных свойств аэроснимка сделаем оценку их дешифрируемости.

Дешифрируемостью аэроснимков следует называть способность их давать определенное количество информации о сфотографированной местности. Различают абсолютную и относительную дешифрируемость.

Абсолютная дешифрируемость I_{\max} аэроснимков количественно может быть выражена через их информационную емкость в единицах информации (в битах). *Относительная дешифрируемость* — через отношение полезной информации I к полной информации I_{\max} , которая может быть получена по аэроснимку,

$$D_0 = \frac{I}{I_{\max}}. \quad (6)$$

Важное значение в теории дешифрирования имеют понятия полноты и достоверности дешифрирования. *Полнота дешифрирования* может быть выражена отношением использованной полезной информации I_i ко всей полезной информации I

$$P = \frac{I_i}{I}. \quad (7)$$

Под *достоверностью дешифрирования* понимается вероятность правильного дешифрирования объектов. Она оценивается отношением количества правильно распознанных объектов n к количеству всех распознанных объектов N

$$D = \frac{n}{N}. \quad (8)$$

Абсолютную полноту и абсолютную достоверность дает только полевое дешифрирование (если исключить субъективные ошибки, связанные с недостаточной квалификацией или вниманием исполнителя). Камеральное дешифрирование всегда имеет полноту и достоверность меньше 100%. Так как переход к камеральному дешифрированию является неизбежным процессом технического совершенствования любой съемки, то дешифрирование превращается в вероятностную проблему. Задача повышения вероятности полноты и достоверности дешифрирования зависит от трех факторов: от возможностей исполнителя, от качества аэроснимков, от характера ландшафта картографируемой территории. С первым фактором связаны физиологические, со вторым — аэрофотографические, а с третьим — географические основы дешифрирования.

Для обеспечения абсолютной полноты и достоверности дешифрирования всегда требуется полевая доработка (или контроль) результатов дешифрирования.

ЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПРОЦЕССА ДЕШИФРИРОВАНИЯ

Логическая структура процесса дешифрирования состоит из ступеней, ведущих исследователя от незнания к знанию. При анализе логической структуры следует исходить из ступеней познания. Исходя из этого, можно выделить три ступени дешифрирования: *обнаружение, опознавание, классификация*. В зависимости от характера ландшафта, от параметров исходных материалов, от квалификации дешифровщика и от других причин ступени познания могут четко разделяться или незаметно переходить одна в другую вплоть до практического слияния их.

Предлагаемая далее логическая структура обычно применяется к дешифрированию отдельных объектов или явлений.

В процессе реального дешифрирования непрерывно осуществляется переход от опознавания одного объекта к другому, от опознавания простых объектов к более сложным и наоборот. Выявляются взаимосвязи между объектами, происходит объединение выявленных объектов в природно-территориальные комплексы. Таким образом переходят от дешифрирования отдельных объектов к дешифрированию ситуации. Знание ситуации позволяет опять перейти к дешифрированию отдельных объектов на более высоком уровне полученной информации. Другими словами, в дешифрировании индуктивный метод сочетается с дедуктивным.

Что представляет собой каждая ступень логической структуры процесса дешифрирования аэроснимков?

Обнаружение состоит в раздельном восприятии элементов (объектов) аэрофотоизображения без выявления их сущности. Пример — обнаружено изображение прямоугольника. Обнаружение — результат зрительного ощущения или работы зрительного анализатора (см. II гл.). Различают три стадии зрительного ощущения (табл. 2).

Таблица 2

Стадии зрительного ощущения

№	Плоское изображение	Стереоскопическое изображение
1	Нерасчлененное (туманное) видение	Появление расплывчатого стереоэффекта
2	Расчлененное (ясное) видение	Формирование (рост) стереоэффекта, связанное с мышцами глаз
3	Узнавание формы	Стабилизация стереоэффекта

Опознавание заключается в получении целостного обособленного образа и расчленении его на элементы с установлением качественных и количественных характеристик их и в оценке полученного образа. Пример — обнаруженный прямоугольник является шлакобетонной постройкой размером $40 \times 10 \times 6$ м с железной крышей. Из определения видно, что опознавание включает три стадии: получение целостного образа (синтез), расчленение образа на элементы и получение характеристик элементов (анализ), оценка полученного образа (синтез на высшей ступени).

Процесс опознавания складывается под воздействием тех сведений, которыми располагал исследователь к началу дешифрирования. Выделяются три принципиально различные ситуации перед опознаванием [41].

1. Дешифровщику ничего не известно об объекте. В этом случае необходимы полевые исследования или приходится строить предположение, которое может быть неоправданным. Такая ситуация называется *порогом адекватного осмысливания*.

2. Дешифровщик знаком с объектом по карте, описанию или в натуре, но не знаком с его аэрофотоизображением. Он сопоставляет образ объекта с его изображением и по совпадению признаков опознает его. Такое дешифрирование имеет *вероятностный характер*, а ситуация называется *порогом узнавания в условиях выбора*.

3. Дешифровщику хорошо известен объект по личному опыту. В этом случае опознавание сводится к сравнению известного изображения с обнаруженным, а ситуация называется *порогом узнавания известного объекта*.

Классификация состоит в выявлении сущности общих признаков индивидуальных объектов и в переходе от индивидуальной к обобщенной характеристике. В частности, при классификации подводят объект под принятый условный знак. Пример — опознанная постройка является скотным двором.

Дешифрирование объектов — частный случай дешифрирования ситуации. Приведем психологическую модель дешифровочного процесса ситуации, которая складывается из нескольких иерархических уровней различного информационного содержания [28] (рис. 1).

ДЕШИФРОВОЧНЫЕ ПРИЗНАКИ

При дешифрировании аэроснимков объекты опознаются в первую очередь по тем их свойствам, которые непосредственно передаются на аэроснимках и непосредственно воспринимаются наблюдателем. Эти свойства называются *прямыми дешифровочными признаками*. К ним относятся форма, размер, тон (цвет) и тень изображения объектов. Прямые дешифровочные признаки часто недостаточны для дешифрирования по двум причинам. Первая — объекты или их характеристики не изобразились на аэроснимках (например, подземные сооружения, назначение постройки). Вторая — объекты не имеют определенных устойчивых дешифровочных признаков: один и тот же признак соответствует различным объектам (например, прямоугольную форму может иметь жилой дом, сарай, гумно), один и тот же объект имеет разные дешифровочные признаки (например, водная поверхность в зависимости от освещения и мутности изображается разным тоном). В связи с этим прибегают к *косвенным дешифровочным* признакам, которые указывают на наличие или характеристику объекта, не изобразившегося на аэроснимке или не определяемого по прямым признакам (например, туннель опознается по разрыву фотоизображения железной дороги, пересекающей гору), или устраняют многозначность и неопределенность прямых признаков. Косвенные дешифровочные признаки основаны на существующих в природе закономерных взаимосвязях пространственного размещения отдельных объектов или комплексов объектов (компонентов ландшафта или при-

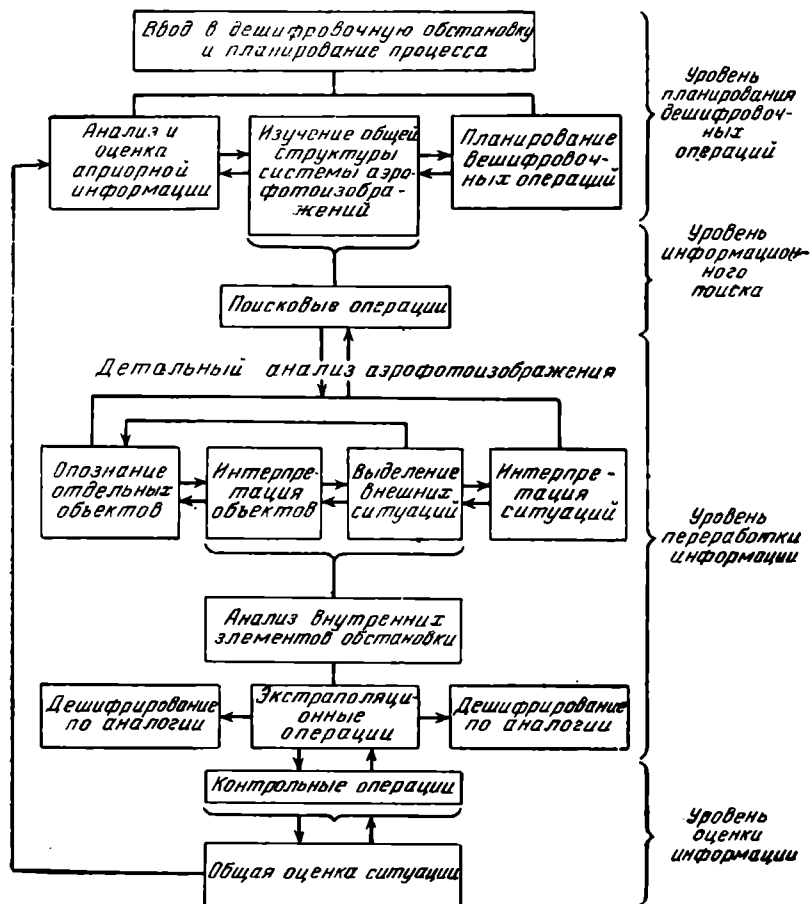


Рис. 1. Структурная схема дешифровочного процесса

родно-территориальных комплексов) или между природными объектами (комплексами) и результатами хозяйственной деятельности человека.

Те объекты (комплексы), наличие и свойства которых указывают на наличие и свойства других объектов, называют *индикаторами*, а метод дешифрирования по косвенным признакам — *индикационным*.

Использование косвенных признаков требует всестороннего анализа аэрофотографического изображения большого участка местности, а поэтому дешифрирование предпочтительнее вести на фотопланах (фотосхемах).

Часто выделяют еще *комплексные дешифровочные признаки*, к которым относят сочетание в определенной закономерности

прямых признаков объектов, образующих природно-территориальные комплексы. К ним относятся: соотношение площадей, занятых различными объектами; соотношение числа различных объектов; пространственная ориентация и характер распределения различных объектов; сочетание и видоизменение форм отдельных объектов; сочетание и изменение по определенному закону тонов различных объектов. Комплексные признаки связаны со структурой объектов или рисунком аэрофотоизображения, отражающего характер ландшафта. Поэтому дешифрирование по комплексным признакам называют *ландшафтным*.

Прямые дешифровочные признаки. Основным прямым признаком, по которому устанавливается наличие объекта и его свойства, является *форма* изображения. Зрительная система наблюдателя в первую очередь выделяет именно очертания предметов, их форму.

Различают геометрически определенную и неопределенную форму. Первая присуща, как правило, всякого рода сооружениям (постройкам, мостам и др.) и может служить надежным дешифровочным признаком. Вторая характерна для многих природных объектов (луга, леса и др.) и часто не может служить определенным дешифровочным признаком.

Далее различают компактную и вытянутую (линейную) форму, плоскую и объемную форму. Для дешифрирования имеет значение то, что вытянутую форму можно распознать на аэроснимках более мелкого масштаба, чем компактную форму, и на второй стадии зрительного ощущения (расчлененное видение). Особенность рисунка вытянутой формы часто является важным дешифровочным признаком (например, по характеру извилистой формы можно отличить дорогу от реки). Под стереоскопом можно всегда отличить плоскую форму от выпуклой (дом, насыпь и др.) и вогнутой (яма, канава и др.) Пространственная форма объекта является хорошим дешифровочным признаком для опознавания как искусственных, так и природных объектов.

Формы объектов претерпевают искажения на аэроснимках, связанные со спецификой аэрофотосъемки. Это хорошо заметно, например, при сравнении изображений горных склонов на соседних аэроснимках. При стереоскопическом рассмотрении объемных форм следует также учитывать искажения из-за несоответствия вертикального и горизонтального масштабов стереомодели.

Если на местности встречается массовое количество объектов с простыми геометрическими формами, то это дает возможность автоматизировать процесс дешифрирования.

Размер — менее определенный, чем форма, дешифровочный признак. Только в некоторых случаях по размеру можно опознать дешифрируемый объект. Часто по размерам косвенным путем получают характеристику объекта (например, назначе-

ние постройки, грузоподъемность моста, отличие лесного массива от группы деревьев, леса от поросли и др.).

Тон фотоизображения зависит от степени почернения фотоземльсии и является логарифмической функцией яркости изображаемого объекта. Так как яркость объекта — величина весьма переменная (см. III гл.), то и тон изображения однородных объектов может изменяться в значительных пределах. К тому же на изменчивость тона дополнительно влияют условия аэрофотосъемки и лабораторной обработки ее материалов.

Опытным путем установлено, что человеческий глаз способен визуально различить до 25 ступеней серого тона. Нет смысла очень точно определять градацию тона изображения по измерениям оптической плотности в силу непостоянства его для однородных объектов. Для количественной оценки тона при дешифрировании достаточно иметь 7-балльную шкалу тональности (табл. 3).

Таблица 3

Балл тона	Название тона	Принцип выделения тона	Пределы оптических плотностей
1	Белый	Крайний визуально различимый тон шкалы	0,1 и меньше
2	Почти белый	Плотность вуали	0,2—0,3
3	Светло-серый	Минимальная плотность большинства фотоизображений	0,4—0,6
4	Средне-серый	Средняя плотность большинства фотоизображений	0,7—1,1
5	Темно-серый	Максимальная плотность большинства фотоизображений	1,2—1,6
6	Почти черный	Тон, превышающий максимальную плотность большинства фотоизображений	1,7—2,1
7	Черный	Крайний визуально различимый тон шкалы	2,2 и больше

Количественная оценка тона имеет большое значение для автоматизации дешифрирования. Для этой цели производят преобразование непрерывного полутонового фотоизображения в дискретное ступенчатое (см. VII гл.).

Объекты местности редко изображаются однородным тоном. Только гладкие или очень однообразные поверхности дают однородный тон (водная, снежная, глинистая поверхности и др.). Большой частью на общем фоне однородного тона встречаются более темные или более светлые разводы и другие нарушения однородности. При дешифрировании следует учитывать важную закономерность изменчивости тона. Объекты, изображающиеся крайними звеньями шкалы тональностей, менее подвержены изменениям, чем изображающиеся средним звеном. Об этом легко судить по анализу характеристической кривой (рис. 2). Дей-

ствительно, небольшое изменение экспозиции (горизонтальная ось) приводит к небольшому изменению оптической плотности на крайних участках кривой и к существенным изменениям в средней части ее (вертикальная ось).

Цвет объектов при аэрофотосъемке с натуральной или условной цветопередачей отличается несравненно большим постоянством, чем тона на черно-белых аэроснимках. Существенно, что различия в фактуре поверхности объектов и условия съемки вызывают преобразования не в цветах аэрофотоизображения, а только в их насыщенности и яркости и то в незначительной степени. Цветовых различий в изображении объектов на аэроснимках во много раз больше, чем различий серых тонов. Для характеристики цветов нет объективных стандартных критериев. Обычно их оценивают по специальным атласам, где, как правило, основная характеристика цветов дается по цветовому тону и дополнительная — по насыщенности и светлоте цветов. Иногда к характеристике цвета добавляют название предмета, имеющего характерную окраску.



Рис. 2. Характеристическая кривая

При дешифрировании цветных аэроснимков следует учитывать факторы, отклоняющие цвета от натуральных. Цвета объектов изменяются при изменении высоты Солнца. Они искажаются в процессе фотообработки. С удалением съемочной камеры от объекта гамма цветов сокращается.

Тень от объектов, изображенных на аэроснимке, является противоречивым дешифровочным признаком. В одних случаях только по тени можно опознать объект или же получить важные характеристики его, в других случаях тень мешает дешифрированию, закрывая объекты или их детали, и тогда она является информационным шумом. При автоматизации дешифрирования от теней пытаются избавиться путем фильтрации аэрофотоизображения (см. VII гл.).

Различают собственные и падающие тени. *Собственной* называется тень, покрывающая часть объекта, не освещенную Солнцем. Наличие собственной тени подчеркивает объемность объекта. Резкие границы между освещенными и затененными частями свидетельствуют о наличии угловатых изгибов поверхности объекта. Плавные изгибы поверхности передаются постепенными переходами от света к тени.

Падающие тени, которые отбрасываются объектами, передают форму последних в виде, близком к привычному, и в ряде случаев являются единственным дешифровочным признаком. Вытянутые вверх объекты — трубы, деревья, геодезические знаки

и др. — лучше всего дешифрируются по падающим теням, которые передают силуэт объекта. Однако между формой тени и формой объекта при виде сбоку нет абсолютного подобия, так как тени на земную поверхность проектируются косыми лучами. При наличии рельефа тени искажаются: в зависимости от направления наклона местности они удлиняются или укорачиваются. Совокупность затененных и освещенных сторон объектов создает теневую пластику изображения, которая меняется в течение суток в зависимости от направления падения теней и соотношения света и тени.

Часто контраст тени к фону превосходит контраст объекта к фону (например, отдельное дерево на лугу, глинобитный дом на глинистой поверхности). В таких случаях повышается ценность тени как дешифровочного признака.

Во многих случаях по измерению длины тени можно быстрее и точнее определить высоту объекта, чем с помощью стереоизмерений. Если размер тени превосходит размер объекта, то повышается точность измерения высот.

Косвенные дешифровочные признаки, основанные на закономерных взаимосвязях между объектами местности, проявляются в приуроченности одних объектов к другим, а также в изменении свойств одних объектов в результате влияния на них других.

По приуроченности одних объектов к другим опознаются:

1. Объекты, прямые признаки которых проявляются недостаточно четко или в неполной мере. Например, жилые постройки от нежилых отличаются в селах по расположению ближе к улице. Особенно часто приуроченность одних объектов к другим используется для разделения объектов, изобразившихся на аэро- снимке одним и тем же тоном (например, снежников и песков в тундре).

2. Объекты, замаскированные другими объектами. Например, в мохово-пушицевых болотах пушица образует сплошной покров, закрывающий мох. Зная, что в данном районе пушица на болотах всегда сопровождается мхом, по пушице, изображающейся белым тоном, можно уверенно дешифровать мох.

3. Объекты, появляющиеся во время, не соответствующее времени аэрофотосъемки. Так, пересыхающие летом озера могут дешифроваться по наличию котловинообразных понижений, если известно, что весной эти котловины заполняются водой.

По изменениям в свойствах одних объектов в результате влияния на них других недешифрируемых объектов опознаются:

1. Объекты, замаскированные другими объектами. Например, наличие заболоченных участков в лесах отражается на форме полога леса. Леса на болотах имеют меньшую высоту деревьев, более светлые и мелкие кроны и меньшую сомкнутость крон.

2. Объекты, отсутствующие на поверхности земли. Многие из них оказывают влияние на свойства маскирующих их объектов, в результате чего прямые признаки последних меняются. Поэтому часто такие объекты легко могут быть установлены по особенностям прямых признаков маскирующих их объектов. Например, подземная осушительная сеть изменяет условия влажности почвы. Там, где заложены осушительные дрены, почвы над ними изображаются более светлым тоном, чем на промежуточных между этими дренами участках. В таких случаях по светлым полоскам можно дешифровать дренажную сеть.

Возможность применения для дешифрирования объектов тех или иных косвенных признаков в каждом конкретном случае устанавливается на основе географического изучения территории и знания вероятности появления того или иного признака. Некоторые косвенные признаки просты, общеизвестны и применимы во всех географических районах (например, установление бродов по подходам к рекам дорог). Но часто косвенные признаки различны для разных физико-географических условий, и для их выявления требуется предварительная исследовательская работа с привлечением литературы, карт, аэроснимков-эталонов. Например, в одних случаях болота приурочены к долинам рек, в других — к водоразделам.

Комплексные дешифровочные признаки, отражающие структуру природно-территориальных комплексов, являются более определенными и устойчивыми, чем прямые признаки составляющих их элементов. Структура аэрофотоизображения складывается из двух компонентов: формы и тона. Если тон — величина довольно переменная, то форма более устойчива, и даже при изменении тона она может служить надежным дешифровочным признаком.

Структуру фотоизображения можно классифицировать по геометрическому, оптическому и генетическому принципам.

Геометрическая классификация основана на системе и взаимном положении точек, линий и площадей (табл.4).

Таблица 4

Геометрический тип структуры	Геометрическая характеристика структуры	Некоторые названия структуры
Точечный	Малые площади (несколько мм ²)	Зернистая
Линейный	Узкие полосы (мм и доли мм)	Струйчатая
Площадной	Большие площади (несколько см ² и более)	Пятнистая
Комбинированный	Малые площади, вкрапленные в большие, характерные фигуры и др.	Пятнисто-зернистая, фестончатая и др.

Оптическая классификация основана на выраженности и изменчивости тонов, образующих геометрические формы. Так, по

оптическим свойствам природно-территориальные комплексы можно подразделить на однородные бесструктурные (например, физиономически не выраженные степи), размытые с неопределенной структурой (например, расплывчатые увлажненные микропонижения в степи), резкие с четко выраженной структурой (например, полигональные поверхности), светотеневые переменной структуры (например лес).

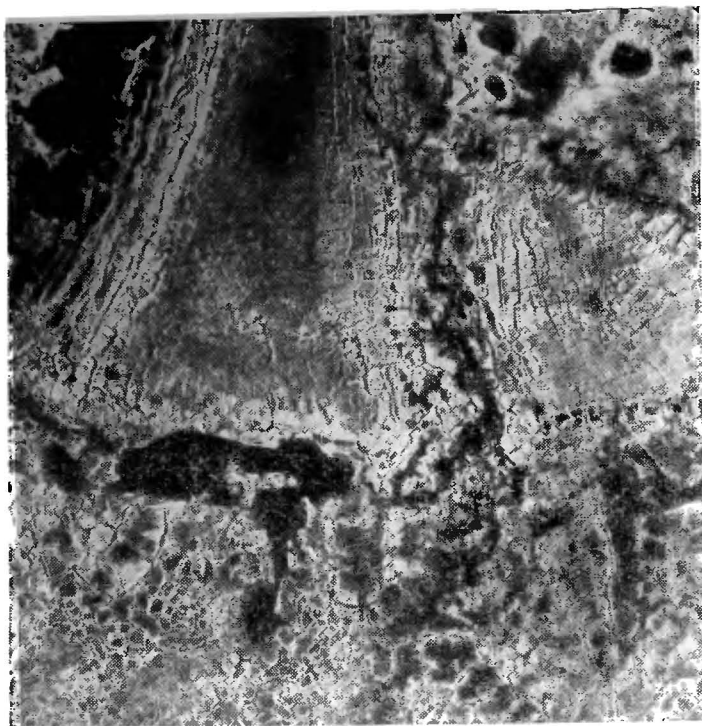


Рис. 3. Сетчатая структура изображения полигональной тундры

Генетическая классификация строится применительно к природно-территориальным комплексам или к их компонентам, например, применительно к болотам, растительности, геологическому строению. Эта классификация еще мало разработана и в то же время она неисчерпаема.

Приведем примеры генетической характеристики некоторых геометрических типов структуры тундровых ландшафтов.

Сетчатую (полигональную структуру) образуют формы микрорельефа, возникшие при морозобойных трещинах или при вылучивании грубообломочного материала в рыхлых грунтах (рис. 3). В последнем случае получается бордюрная структура.

Этот микрорельеф в одних случаях является начальной стадией образования плоскобугристого рельефа, в других — эрозионно-полигонального микрорельефа. Растительность полигональных поверхностей довольно разнообразна и зависит от стадии развития полигонов и положения в микрорельефе. На влажных внутренних частях полигонов растут осока, мох, а на валиках, кроме того, — лишайники и кустарнички. В случае бордюрной структуры растительность отсутствует или ютится бордюрами по трещинам.



Рис. 4. Караваяеобразная структура изображения бугристой тундры

Караваяеобразная структура возникает в бугристой тундре. Бугристый рельеф представляет собой куполовидные или плоские бугры округлой или вытянутой формы высотой от 1 до 8 м. Поперечник бугров варьирует от нескольких до 200 м (рис. 4). Бугры образуются вследствие выпучивания мерзлого грунта или в результате эрозионного углубления и расширения морозобойных трещин. Первым путем образуется крупнобугристый рельеф, вторым — плоскобугристый. Верхняя часть бугров имеет преимущественно лишайниковую и кустарничковую растительность, склоны бугров — сложный комплекс тундровой растительности, промежутки между буграми покрыты моховыми и осоковыми болотами, луговой и кустарниковой растительностью.

Рассмотренные выше дешифровочные признаки можно наз-

вать эмпирическими. Их система, надежность, область применения созданы и исследованы применительно к методам дешифрирования, основанным на творческой деятельности человека.

Разработка автоматических методов дешифрирования привела к изменению понятия дешифровочных признаков и к введению принципиально другой системы их. Перед исследователями встала задача: найти такую эффективную систему дешифровочных признаков, которая была бы основана на классификации и кодировании изображения для автоматического дешифрирования. Для этого следует построить количественную классификацию дешифровочных признаков по статистическим характеристикам оптических параметров, отражающихся на фотографическом изображении. Если исследуемый фотоснимок не полностью подходит под выработанную классификацию, он должен быть преобразован.

В разработке новой системы дешифровочных признаков сделаны лишь первые шаги. Были предложены классификации признаков, основанные на квантовании изображения по уровням яркости, на соотношениях уровней яркости со структурой изображения, на использовании цветowych координат изображения и др.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЕШИФРИРОВАНИЯ

ЗРИТЕЛЬНЫЕ ПОРОГИ

Дешифрирование аэроснимков — это прежде всего физиологический процесс, связанный с работой зрительного анализатора. Зрительный анализатор состоит из трех отделов: фоторецептора — концов нервных волокон, находящихся в сетчатке глаза, воспринимающих раздражение и преобразующих световые сигналы раздражителей в возбуждение; проводника — нервных волокон, передающих возбуждение в центр восприятия (в кору головного мозга); коркового центра зрительного анализатора, в котором нервное возбуждение превращается в зрительное ощущение и происходит формирование зрительных образов.

Эффективность зрительного процесса зависит от порогов чувствительности зрительного анализатора. Под *порогом чувствительности* подразумевается минимальное световое воздействие, которое еще может быть зарегистрировано приемником излучения. Различают три порога чувствительности: различительный, разрешающий, стереоскопический.

Различительный порог определяется контрастом изображения, т. е. разностью оптических плотностей изображения соседних объектов или

$$\delta = D_1 - D_2. \quad (9)$$

Порог контрастной чувствительности для любых размеров изображаемых объектов, установленный опытным путем (δ_0), равен 0,06.

Порог контрастной чувствительности для размытого изображения снижается. Он определяется из формулы

$$\delta_1 = \delta_0 (1 + k^2 l^2), \quad (10)$$

где k — коэффициент, зависящий от вида пограничной кривой (кривой, отражающей разность оптических плотностей между соседними объектами); l — ширина полосы размытости изображения. При пограничной кривой, близкой к прямой, $k = 8,4^{-3}$. Очевидно, что с уменьшением масштаба аэроснимка должна уменьшаться величина l и, следовательно, произойдет обострение контрастности изображения, которое имеет большое значение для дешифрирования мелкомасштабных аэроснимков.

Зрительный анализатор обладает цветоразличительной чувствительностью, порог которого для разных цветов неодинаков

вый. Глаз различает цветовые тона в пределах длин волн электромагнитного излучения от 0,39 до 0,76 мкм. Наиболее чувствителен глаз к желтому и голубому цветам, где порог различимости равен $\sim 0,001$ мкм. Значительно ниже чувствительность глаза к красному, зеленому и сине-фиолетовому цветам. Глаз способен различать тысячи цветовых оттенков.

Цветовые контрасты могут изменяться в зависимости от сочетаний изображаемых объектов. Например, серое поле на белом кажется темнее, а на черном — светлее. Соседние разноцветные пятна представляются сильнее различающимися по цвету, чем воспринимаемые порознь.

Разрешающий порог (острота зрения) — минимальный размер воспринимаемого глазом объекта (a). Опытным путем установлено, что невооруженным глазом может быть воспринят кружок диаметром 0,12 мм, имеющий резкие очертания и контраст по отношению к фону, равный или больше 1. Чем больше контраст изображения, тем меньше воспринимаемый размер кружка (табл. 5).

Таблица 5

Величина наименьшей различимой детали аэроснимка в зависимости от ее контраста

δ	1,0	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1	0,05
a , мм	0,12	0,14	0,17	0,22	0,27	0,38	0,53

Приведенные в табл.5 значения действительны при ширине размытости изображения, близкой к нулю. Между размытостью изображения, контрастом и разрешающим порогом существует зависимость

$$a_1 \sim 1,4l\delta^{-\frac{1}{2}} \quad (11)$$

для линейных объектов и

$$a_2 \sim 3,5l\delta^{-\frac{1}{2}} \quad (12)$$

для компактных объектов (табл. 6).

Как видно из табл. 6, компактные объекты воспринимаются при размерах несколько меньших, чем размер кружка.

Большое значение для дешифрирования имеет *стереоскопический порог* зрения (глубина зрения), т. е. способность воспринимать глубину пространства и оценивать относительное расположение объектов в пространстве.

При монокулярном зрении оценка относительного расположения в пространстве производится по косвенным признакам (например, путем сравнения видимых размеров однородных объек-

Влияние размытости изображения на величину наименьшей различимой детали аэроснимка (для компактных объектов)

l, мм	δ					
	1,0	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1
a, мм						
0,03	0,10	0,13	0,15	0,20	0,23	0,35
0,05	0,18	0,20	0,25	0,32	0,40	0,55
0,07	0,25	0,28	0,35	0,45	0,55	0,78

тов можно установить, что один объект расположен ближе другого).

При бинокулярном зрении порог глубинного зрения (δ_c) равен разности углов зрения, которая соответствует тому минимальному расстоянию между объектами, при котором они кажутся наблюдателю находящимися на разном удалении от него, т. е.

$$\delta_c = \alpha - \beta, \quad (13)$$

где α и β — углы зрения из двух точек наблюдения. Эта величина колеблется от 2 до 5". Например, порог стереоскопического восприятия разности высот равен ~ 1 м на аэроснимках, полученных при высоте полета 1000 м и фокусном расстоянии камеры 70 мм.

Разрешающая способность стереоскопического зрения примерно в два раза выше монокулярного. У наблюдателей с нормальным зрением при благоприятных условиях наблюдения угловой предел разрешения глаза для монокулярного зрения равен $\sim 20''$ для линейных объектов и $\sim 40''$ для компактных. В случае бинокулярного зрения он равен соответственно $\sim 10''$ и $\sim 25''$.

При дешифрировании объектов с размытыми контурами и ослабленной контрастности угловой предел разрешения будет больше.

Форма видимой стереоскопической модели местности определяется не только геометрическими свойствами аэроснимков, но и физиологическими особенностями зрения. Форма модели зависит как от условий фотографирования, так и от условий стереоскопического рассматривания. Как показывает опыт, форма модели искажается при изменении расстояний между аэроснимками, между глазами и аэроснимками, при перемене взаимного положения глаз наблюдателя и стереоскопа относительно аэроснимков. Одним из наиболее слабых мест при определении величины вертикального преувеличения является вопрос нахождения расстояния между глазами наблюдателя и моделью. Наиболее приемлемой в практике считается формула, предложенная для этой цели Ч. Миллером [45],

$$\mu = \frac{\Phi_{\phi} b}{fb_r}, \quad (14)$$

где μ — вертикальное преувеличение; Φ_{ϕ} — расстояние от глаз наблюдателя до точки фиксации на модели; b — базис съемки в масштабе фотографирования; f — фокусное расстояние камеры; b_r — глазной базис.

Из всех величин, входящих в формулу (14), только величина Φ_{ϕ} трудно поддается непосредственному измерению. Она не равна расстоянию наилучшего зрения. Миллер принимает среднее значение для $\Phi_{\phi} = 41$ см.

Большое значение имеет зависимость формы стереомодели от положения стереоскопа и глаз наблюдателя относительно снимков. Перемещение стереоскопа вызывает изменение формы модели.

Для получения более надежных результатов наблюдения и измерения по стереомоделям рекомендуется соблюдать следующие условия рассматривания: а) пользоваться одним и тем же стереоскопом, а при смене его заново определить величину μ ; б) при рассматривании объекта, изображение которого находится примерно посередине между главными точками обоих снимков, стереоскоп ставить так, чтобы оба глаза смотрели на идентичные точки одинаково; в) если изображение объекта находится около главной точки одного снимка, а следовательно, близко к краю другого снимка, стереоскоп следует ставить таким образом, чтобы один глаз смотрел «прямо вниз», а другой рассматривал этот объект под некоторым углом; г) если изображение объекта находится на краях (верхнем или нижнем) обоих снимков, то стереоскоп следует сдвигать ближе к центральной части модели, перемещая его вправо или влево, в зависимости от того, где находится изображение этого объекта относительно главных точек снимка; д) все перемещения стереоскопа должны выполняться таким образом, чтобы они производились параллельно начальному направлению, по которому ориентированы снимки [45].

НАДЕЖНОСТЬ ДЕШИФРИРОВАНИЯ

Эффективность дешифрирования аэроснимков в условиях дефицита времени зависит от пропускной способности зрительного анализатора, под которой понимается предельное количество информации в единицу времени, воспринимаемое зрительным анализатором. Это количество равно примерно 70 бит в секунду. Величина пропускной способности уменьшается в случае необходимости переработки и передачи информации.

При длительной работе глаза, особенно в условиях дискомфорта, возникает зрительное утомление, которое проявляется в понижении работоспособности оптического и мышечного аппаратов глаза, особенно при работе на стереоскопических при-

борах. Утомление оптического аппарата приводит к снижению различительной и разрешающей способности глаза. Утомление мышечного аппарата сводится к ослаблению и замедлению реакции глазодвигательных, аккомодационных и других мышц на раздражение. Все эти явления сопровождаются режью в глазах, головными болями и другими расстройствами нервной системы [35].

Для тренированного дешифровщика на полное завершение процесса аккомодации и адаптации глаз требуется от 0,2 до 0,3 сек. Глубина стереозрения достигает максимума через 0,5 сек после начала наблюдения. Поиск объекта аэрофотоизображения также требует времени.

Одна из причин ненадежности работы дешифровщика кроется в перегруженности информацией. Наблюдатель может одновременно принять и обработать не более 7—8 разнородных сигналов. Иначе возникает перегрузка информацией его оперативной памяти и все остальные сигналы будут пропущены. Вот почему, например, трудно представить местность в целом, если просто последовательно рассматривать отдельные аэроснимки,— для этого нужна фотосхема.

Кроме перегрузки информацией не меньшее значение имеет недостаток ее, особенно при ограниченном обзоре местности на снимке. При полной изоляции аэрофотоизображения объекта от среды его опознавание часто невозможно. Оптимальные пределы обзоримой территории трудно определить, и они зависят отчасти от характера местности.

Существенное влияние на надежность дешифрирования оказывают зрительные иллюзии [41]. Они проявляются в искаженном восприятии натуральных размеров форм объектов и тонов изображений и являются основным источником дезинформации. Широко известна иллюзия обратного рельефа при определенных сочетаниях освещенных и затененных склонов гор, оврагов, микрорельефа песков и полога леса. Иллюзия восприятия рельефа из-за разнотонности изображения местности может привести к заметным ошибкам при определении высот.

Влияние иллюзии на результат дешифрирования заметно уменьшается или совсем исчезает, если аэрофотоизображение четко ассоциируется с реальными объектами, хорошо известными наблюдателю. При достаточно длительном и сосредоточенном рассматривании под стереоскопом ограниченной площади возникает иллюзия типа «эффекта присутствия». Наблюдатель мысленно переносит себя в наблюдаемую среду, как бы оживляя ее.

При достаточно длительном разрыве между моментом наблюдения и временем фиксации результатов появляются ошибки из-за возникновения послеобразов. В памяти наблюдателя происходит трансформация прямых признаков. Наибольшие искажения претерпевает цвет и меньшие — форма изображения.

Продолжительность периода стабильной надежности связана со свойствами нервной системы. Л. Е. Смирнов наблюдал специалистов, у которых надежность дешифрирования заметно падала из-за перегрузки нервной системы уже к концу 2—3 ч непрерывной работы, тогда как большинство дешифровщиков выдерживают 6—7 ч и более камерального дешифрирования без снижения производительности и качества работы. Существенную роль здесь играет перегрузка информацией, поэтому недостаточно натренированные дешифровщики устают быстрее.

Продолжительность периода высокой и стабильной надежности зависит также от условий работы и прежде всего от светового режима. Максимум надежности возникает при освещении поля снимков в 600—800 лк.

Глава III

АЭРОФОТОГРАФИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЕШИФРИРОВАНИЯ

ПОКАЗАТЕЛИ ОПТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ИХ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Возможность дешифрирования, полнота и качество его зависят от отчетливого изображения объектов местности на аэро-снимках. Отчетливое изображение зависит от географических факторов, т. е. от оптических свойств фотографируемого ландшафта и воздушной среды между земной поверхностью и аэрофотоаппаратом, и от технических средств, применяемых при аэрофотосъемке и при фотолaborаторном процессе. Перед тем как установить технические условия аэрофотосъемки, следует изучить оптические свойства ландшафта, зависящие от меняющихся физических свойств атмосферы и от меняющегося состояния земной поверхности. Эту изменчивость приходится учитывать при выборе времени аэрофотосъемки. Однако на время аэрофотосъемки накладываются ограничения, связанные с ее задачами. Необходимо получать изображения не случайного, хотя и оптически выгодного, состояния ландшафта, а такого, который лучше отображает цели картографирования или другие задачи дешифрирования.

Зная оптические свойства ландшафта, можно ставить технические условия для производства аэрофотосъемки (масштаб, высота фотографирования, тип аэропленки и др.).

При наблюдении и фотографировании все объекты земной поверхности воспринимаются раздельно благодаря их яркостным различиям. Яркости объектов зависят от их освещенности, способности отражать падающее на них излучение и от поглощения отраженного излучения промежуточной средой между наблюдателем (аэрофотоаппаратом) и объектом. Для расчета условий фотографирования с целью получения наиболее информативных аэроснимков необходимо прежде всего знать показатели яркостей объектов, которые оказывают влияние на качество фотографии. К таким показателям относятся коэффициент яркости, яркостный контраст и интервал яркости.

Коэффициентом яркости r называется отношение яркости B в рассматриваемом направлении к яркости белой идеально рассеивающей поверхности B_0 при одинаковой освещенности

$$r = \frac{B}{B_0}. \quad (15)$$

Коэффициент яркости дает суммарную характеристику отраженного света в интервале длин волн белого (видимого) света и поэтому называется также интегральным. Оптически нейтральные (серые) объекты имеют одинаковый коэффициент яркости для всех видимых лучей спектра.

Для объектов, имеющих окраску, коэффициент яркости будет различным для разных участков спектра цветового тона. Он называется *спектральным коэффициентом яркости* (СКЯ) r_λ . Для решения многих аэрофотографических задач большое значение имеет величина r_λ в пределах видимой и ближней ИК зоны спектра.

Возможности выявления объектов земной поверхности определяются во многом их яркостными различиями, которые оцениваются яркостным (пограничным) контрастом K , равным отношению разности яркостей (коэффициентов яркостей) смежных объектов к большей из них,

$$K = \frac{B_1 - B_2}{B_1} = \frac{r_1 - r_2}{r_1}. \quad (16)$$

Для сопоставления яркостей двух смежных объектов (объекта и фона) при анализе фотографического воспроизведения тонов пользуются деталью яркости, определяемой из формулы

$$\Delta = \log \frac{B_1}{B_2} = \log \frac{r_1}{r_2}. \quad (17)$$

Величину контрастов можно повысить соответствующим выбором зоны спектра, в которой производится фотографирование на основе величины СКЯ объектов. Для этой цели находят те спектральные зоны, в которых отношения СКЯ пограничных объектов достигают наибольшей величины. Их можно выявить по величине отклонения от единицы построенной кривой отношения r_λ/r'_λ (рис. 5).

Для обоснованного выбора оптимальной по спектральной чувствительности аэропленки необходимо знать встречающиеся пограничные сочетания между объектами снимаемой местности. Очевидно, что при съемке ландшафтов с малым количеством различных типов объектов можно предъявить более строгие и конкретные требования к выбору аэропленки с соответствующей спектральной чувствительностью.

Для выбора условий аэрофотографирования необходимо определить еще интервал яркости (относительный фотографический контраст), под которым подразумевается отношение наибольшей яркости объектов снимаемой местности к наименьшей (или соответствующих коэффициентов яркостей), т. е.

$$U = \frac{B_{\max}}{B_{\min}} = \frac{r_{\max}}{r_{\min}}. \quad (18)$$

Логарифм отношения тех же величин называется *фотографическим контрастом*.

Оценка интервала яркости ландшафта производится исходя из яркости массовых или практически важных объектов. Среднее значение интервалов яркости летнего ландшафта колеблется в пределах от 2 до 30, а фотографических контрастов — от 0,30 до 1,48.

Перечисленные параметры неполностью характеризуют все оптические свойства ландшафта, необходимые для его всестороннего изучения сверху. Более подробные сведения могут дать частотно-контрастные характеристики ландшафта, описывающие пространственное распределение его яркостных элементов. Сочетание этих характеристик с передаточными характеристиками АФА и фотографических материалов позволит получать аэроснимки, обладающие большей, чем в настоящее время, информацией.

СКЯ объектов местности определяются с помощью спектротрической съемки. Изучение СКЯ — очень важная и вместе с тем сложная и часто неопределенная задача. За несколько

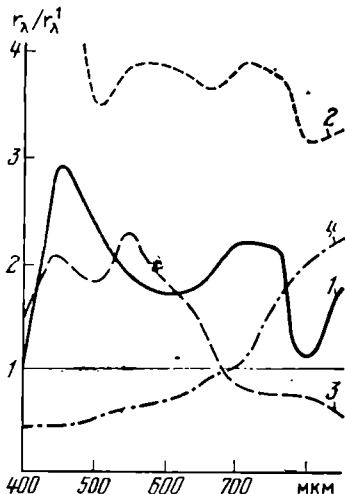


Рис. 5. Кривые отношений спектральных коэффициентов яркостей некоторых сочетаний растительности:

1 — мох и лишайник, 2 — луг и кустарник, 3 — луг и степь, 4 — степь и полукустарник

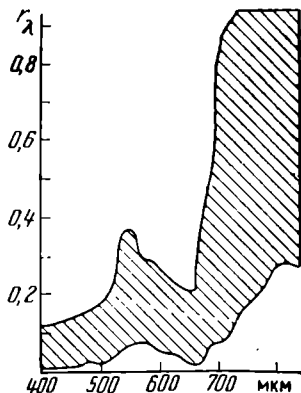


Рис. 6. Площадь распространения кривых СКЯ травянистой растительности, полученных в разных условиях

десятилетий опубликовано большое количество кривых СКЯ различных объектов, но они плохо сопоставимы и мало пригодны для строгого статистического анализа. Существует несколько причин такого положения.

Главная причина трудности определения СКЯ состоит в сложности выделения достаточно однородных по оптическим

свойствам участков, состоящих из одного объекта или образующих природно-территориальные комплексы. Кроме того, не учитывается степень оптической генерализации природно-территориальных комплексов по мере увеличения высоты спектротметрической съемки. Многие факторы влияют на изменение значений СКЯ во времени. Плохо отработана методика измерений, однако этот процесс управляемый. Здесь достаточно установить обоснованные требования к съемочной аппаратуре, режиму регистрации и др.

Указанные причины приводят к значительному разбросу величин СКЯ одних и тех же объектов, но измеренных в разных условиях и по разной методике. Приведем в качестве примера площадь разброса СКЯ травянистой растительности, полученную по 70 кривым Е. Л. Крипова (рис. 6 взят из [6]).

Попытка получения объективных показателей СКЯ и других оптических характеристик объектов местности сделана Ю. С. Толчельниковым [43]. Он предложил методику изучения оптической характеристики как отдельных природных объектов, так и их комплексов с географических позиций (см. IV гл.).

Оптическая характеристика объектов земной поверхности подвержена существенным изменениям во времени, причинами которых являются: 1) изменение состояния поверхности, 2) изменение освещенности поверхности, 3) изменение состояния промежуточной среды.

Влияние состояния поверхности на изменения ее оптических свойств зависит от характера почвенного и растительного покрова и участков обнаженных горных пород (см. IV гл.).

Яркость объектов земной поверхности зависит от их фактуры, которая в свою очередь влияет на изменение яркости в зависимости от направления измерения ее. Это изменение можно представить в виде полярных диаграмм, называемых индикатриссами отражения. По виду индикатриссы отражения выделяют 3 типа поверхностей (рис. 7):

1. *Слабошероховатые* (ортотропные). Элементы поверхности ориентированы различно и яркость во всех направлениях одинакова. Поверхность матовая, свет имеет равномерное диффузное рассеивание, индикатрисса круговая (рис. 7, а). Такая поверхность характерна для недревесной растительности. Вид индикатриссы устойчив, а следовательно, устойчив и фототон. При изме-

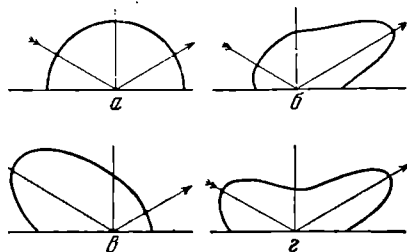


Рис. 7. Основные типы индикатриссы отражения:

а — равномерное диффузное, б, в — направленное, г — смешанное

нении увлажненности поверхности индикатрисса может превратиться в вытянутую.

2. *Гладко-зеркальные* с направленным рассеиванием. Яркость усиливается в сторону источника света или в сторону зеркально отраженного луча. По этим направлениям вытянута индикатрисса (рис. 7, б, в). Ее вытянутость изменяется от изменения угла наклона солнечных лучей и поэтому имеет суточный ход. Соответственно меняется и фототон. К такому типу относятся водная и снежно-ледовая поверхности, а также некоторые обнаженные грунты (базальт, известняк, солончак и др.).

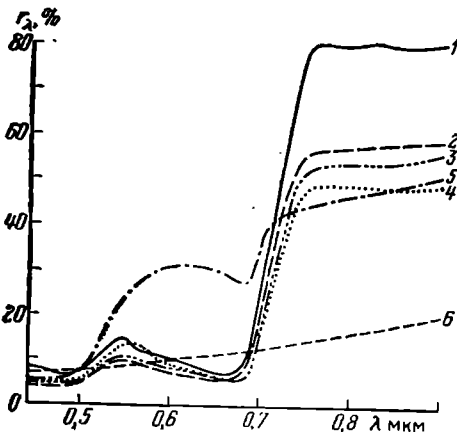


Рис. 8. Кривые СКЯ листьев осины в разных фазах вегетации:

1 — зеленые (16.VII), 2 — зеленые (1.VIII), 3 — зеленые (14.IX), 4 — желтовато-зеленые (30.IX), 5 — желтые (11.X), 6 — сухие серые (11.X)

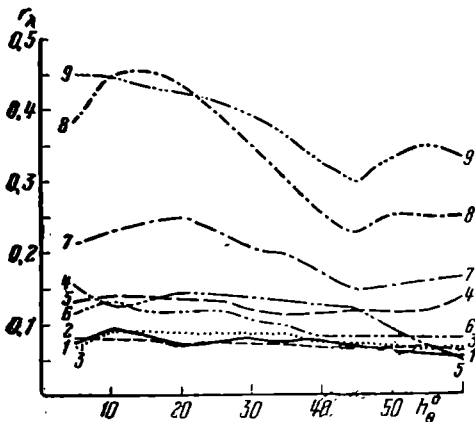


Рис. 9. Изменение СКЯ разнотравно-злакового луга в зависимости от высоты стояния Солнца. Значения:

1 — 400, 2 — 450, 3 — 500, 4 — 550, 5 — 600, 6 — 650, 7 — 700, 8 — 750, 9 — 800 мм

3. *Смешанные* с рассеянно-направленным отражением. Элементы поверхности большей частью ориентированы одинаково, и яркость меняется в зависимости от угла направления солнечных лучей. Индикатрисса вытянута одновременно в сторону источника света и в сторону отражения (рис. 7, г). Она имеет суточный ход, аналогичный второму типу поверхности. К смешанному типу относятся поверхности с заметной высотой их объектов — лес, микро-рельеф и др.

Ю. С. Толчельников

[43] исследовал ахроматические и спектральные индикатриссы отражения элементов ландшафта, а также их динамику и получил следующие результаты.

Спектральные индикатриссы отражения существенно различаются между собой, причем для каждого элемента ландшафта характерны индикатриссы отражения определенного типа. Форма индикатриссы отражения элементов ландшафта зависит от их фенологического состояния (рис. 8) и погодных условий. Например, наличие росы увеличивает вытянутость индикатриссы как в сторону зеркального отражения, так и в сторону освещения. Большое значение на изменение СКЯ оказывает высота Солнца (рис. 9). Неравномерность углового распределения отраженного излучения с уменьшением высоты Солнца возрастает и становится у объектов с сильно иссеченной или гладкой поверхностью, нежели у объектов со среднешероховатой поверхностью.

Яркость объектов ландшафта и их спектральный состав искажаются вследствие поглощения и рассеяния излучения атмосферой, а также из-за наложения на яркость объектов яркости дымки B_d . Яркость объекта на уровне объектива АФА [44] будет

$$B' = \tau_H B + B_d, \quad (19)$$

где τ_H — коэффициент прозрачности атмосферы между земной поверхностью и АФА, который берется из таблицы.

Уменьшение яркости объектов снижает контраст между ними и интервал яркости ландшафта на уровне съемки. Контраст объектов на уровне АФА будет

$$K' = \frac{\tau_H (B_1 - B_2)}{\tau_H B_1 + B_d}. \quad (20)$$

Уменьшение контраста объектов на уровне съемки видно из табл. 7.

Таблица 7

Отношение контраста объектов на уровне съемки (K') к контрасту на уровне Земли (K) [44]

Высота, км	Высота стояния Солнца, градусы							
	$K':K$ для объектов малой яркости				$K':K$ для объектов большой яркости			
	15	30	45	60	15	30	45	60
1	0,48	0,56	0,60	0,62	0,86	0,90	0,92	0,94
2	0,40	0,48	0,54	0,57	0,80	0,86	0,89	0,90
4	0,30	0,40	0,45	0,48	0,70	0,80	0,84	0,86

Интервал яркости также уменьшается. Для высоты 4 км при малых яркостях U уменьшается в 2,3—3 раза, при больших яркостях — в 1,4—1,6 раза.

Имея достаточное количество фотометрических измерений, можно выделить типы земной поверхности по коэффициентам яркостей или по другим оптическим показателям.



Рис. 10. Кривые СКЯ объектов 1-ой группы

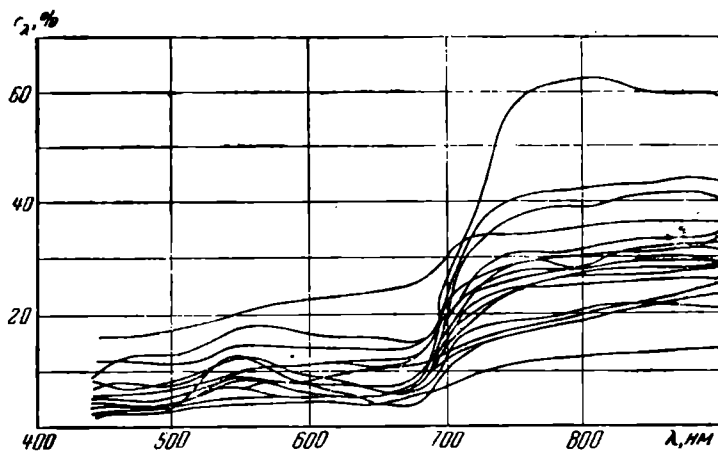


Рис. 11. Кривые СКЯ объектов 2-ой группы

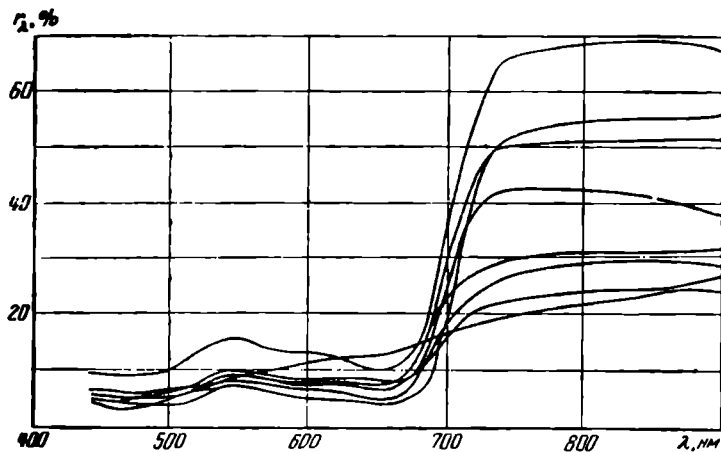


Рис. 12. Кривые СКЯ объектов 3-ей группы

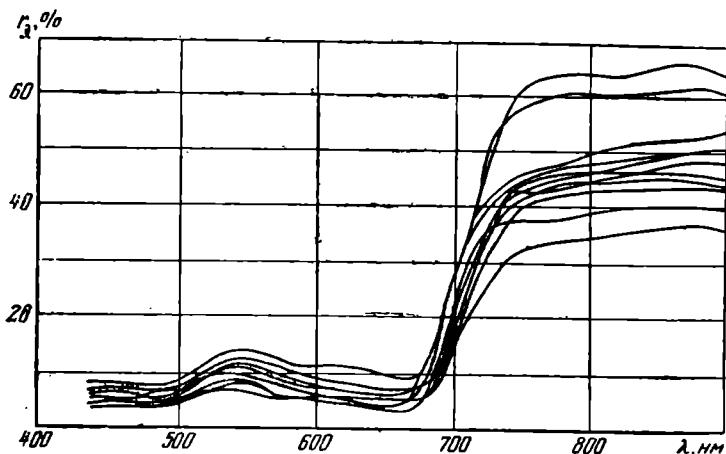


Рис. 13. Кривые СКЯ объектов 4-ой группы

Первую классификацию объектов местности (природных образований) по яркостям предложил Е. Л. Кринов [44]. Принципом для выделения классов у него служили виды кривых СКЯ. Классификация Е. Л. Кринова была дополнена и уточнена лабораторией аэрометодов Министерства геологии СССР [44]. По этой классификации ландшафты делятся на зимние и летние. Зимние, нейтральные ландшафты со снежным покровом и льдом характеризуются высокими значениями СКЯ, достаточно постоянными в широком интервале длин волн (400—800 нм). Летние, хроматические ландшафты характеризуются большими изменениями значений СКЯ и по характеру кривой делятся на 4 группы. Первая группа — объекты неживой природы — нейтральные, с почти неизменным значением СКЯ (обнажения горных пород, почвы обработанных полей до появления растительности, строения и пр.) (рис. 10); вторая — травянистая растительность (рис. 11); третья — сельскохозяйственные культуры (рис. 12); четвертая — леса и кустарники (рис. 13).

Были предложены другие классификации земной поверхности по оптической характеристике, но все они основаны на неполноценных материалах и решают частные задачи. В настоящее время можно ставить вопрос лишь о принципе построения классификации по измеренным показателям оптических свойств земной поверхности. Для построения такой классификации применительно к комплексам природных объектов фациям (наиболее мелкий комплекс) и ландшафтам Ю. С. Толчельников приводит набор оптических показателей [43]. Эти показатели следующие:

- средний коэффициент яркости фации \bar{r} ;
- параметры, характеризующие форму кривой СКЯ,

$$\frac{r_{700\text{нм}}}{r_{600\text{нм}}}, \frac{r_{680\text{нм}}}{r_{660\text{нм}}}, \frac{r_{660\text{нм}}}{r_{640\text{нм}}};$$

— параметр, указывающий на положение кривой \bar{r}_λ по оси ординат, — $r_{400\text{нм}}$;

— параметр, характеризующий угловое распределение отражательной способности, — $\frac{r_{45^\circ}}{r_{135^\circ}}$ (отношение коэффициентов яркости, измеренных в плоскости вертикала Солнца в двух направлениях, составляющих углы 45° и 135° с горизонтальной плоскостью, при высоте Солнца $25-35^\circ$);

— площадь фации — S_ϕ ;

— коэффициент асимметрии контура — α ;

— расчлененность границ контура — K ;

— ориентированность контура — φ ;

— характеристики оптической неоднородности фации — средние квадратические отклонения коэффициентов яркости — σ_r , σ_{r_λ} ;

— характеристики геометрической структуры фации — средний размер (\bar{l}) деталей, составляющих фацию, и среднее квадратическое отклонение от него — σ_l ;

— частотно-контрастные характеристики фаций: распределение яркостей и размеров фрагментов в фации, спектральная функция (см. VII гл.).

В классификации ландшафтов должны учитываться, кроме того, взаимосвязи между составляющими их элементами, характеризующиеся следующими параметрами:

— средний коэффициент яркости ландшафта \bar{r}_λ ;

— среднее квадратическое отклонение коэффициентов яркости данного ландшафта σ_{r_λ} ;

— интервал яркости ландшафта U ;

— среднее квадратическое отклонение размеров разных видов фаций σ_{S_ϕ} ;

— относительные площади, занимаемые фациями различных видов в пределах ландшафта, q_i (отношение площади, занимаемой фациями i -го вида, к площади ландшафта).

ОСОБЕННОСТИ АЭРОФОТОГРАФИЧЕСКОГО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Оптическая неоднородность земной поверхности выражается на аэроснимках переходом от одного тона (цвета) к другому. Величина пограничного тонового или цветового контраста изображений смежных объектов в основном определяет возможность их распознавания при условии, что этот контраст будет выше порога контрастной чувствительности глаза.

Границы между аэрофотоизображениями разных контуров представляют собой не резкие линии, а размытые переходные

полосы, образование которых связано с отсутствием четких границ в природе, с явлением светорассеяния в атмосфере и системе АФА (аэропленка, смаз в процессе воздушной съёмки и характер фотографической обработки аэроснимков). Чем больше размытость границ контуров на аэроснимках, тем меньше резкость аэрофотоизображения. Между резкостью и разрешающей способностью нет прямого соответствия. Разные по резкости аэрофотоизображения могут быть получены при одинаковой разрешающей способности и наоборот. Резкость снижается с ростом светочувствительности материалов, что требует компромиссных вариантов в зависимости от конкретных условий дешифрирования аэроснимков.

Одна из основных проблем дешифрирования состоит в определении тех оптимальных условий, при которых контрасты объектов местности будут переданы аэроснимками в наиболее явном виде. Решающим фактором здесь является правильный выбор светочувствительного материала в зависимости от характера фотографируемого ландшафта. При этом часто целесообразно, чтобы различие между изображениями для глаза наблюдателя было бóльшим, чем различия между самими объектами. Такой подход к решению проблемы требует создания типов аэроплёнок, каждая из которых была бы в наибольшей степени применима для фотографирования определенного ландшафта при определенных условиях.

Контраст фотографического изображения может быть выражен формулой

$$\delta = \gamma \log \frac{\sum r_{2\lambda} T_{\lambda} S_{\lambda}}{\sum r_{1\lambda} T_{\lambda} S_{\lambda}}, \quad (21)$$

где γ — коэффициент контрастности, $r_{2\lambda}$ и $r_{1\lambda}$ — спектральные коэффициенты яркостей смежных объектов, T_{λ} — спектральный коэффициент прозрачности светофильтра, S_{λ} — спектральная светочувствительность аэропленки.

$$\gamma = \frac{D_2 - D_1}{\log H_2 - \log H_1},$$

где D_1 и D_2 — оптические плотности, H_1 и H_2 — экспозиция при съёмке двух объектов.

Опытным путем установлено, что для получения возможно более высокого качества фотографического изображения режим проявления должен быть таким, чтобы коэффициент контрастности находился в пределах $0,8 \leq \gamma \leq 1,6$ для черно-белых аэроплёнок и $1 \leq \gamma \leq 2,8$ для цветных. Значение γ зависит от характера оптики фотографируемого ландшафта и должно устанавливаться экспериментально применительно к конкретному району аэросъёмки. Минимальный контраст, определяемый по формуле (21), должен быть 0,10, т. е. несколько больше поро-

вого (0,06), так как эта формула не учитывает причины, снижающие контраст изображения.

Приведем в качестве примера вычисленные по формуле (21) пограничные контрасты между некоторыми топографическими объектами при фотографировании на панхроме при проявлении до $\gamma = 1$ (табл. 8).

Таблица 8

Контрасты изображений на панхроматической аэроплёнке

Объекты	Почва серая сухая	Почва серая сухая с травянистым покровом	Почва заболоченная	Шоссе	Береза	Ель	Луг	Крыша железная красная	Дорога по серой почве
Почва серая сухая		0,005	0,067	0,80	0,59	0,11	0,19	0,46	0,57
Почва серая сухая с травянистым покровом			0,08	0,80	0,60	0,10	0,19	0,46	0,57
Почва заболоченная				0,72	0,52	0,18	0,11	0,39	0,49
Шоссе					-0,21	-0,90	-0,61	-0,34	-0,23
Береза						-0,70	-0,57	-0,13	-0,03
Ель							0,30	0,50	0,67
Луг								0,27	0,38
Крыша железная красная									-0,11

Светочувствительный слой не может дать непрерывного изображения, так как его светочувствительные элементы — зерна эмульсии — имеют заметные размеры. Зерна становятся видными при рассматривании аэроснимков с увеличением порядка 10^x . Рассеяние света в эмульсионном слое приводит к тому, что фотохимическим эффектом оказываются затронутыми не только зерна эмульсии, на которые падает оптическое изображение, но и соседние с ними. Поэтому на аэроснимках, например, линейные объекты изображаются более широкими полосами, чем в оптическом изображении.

Существенной причиной, определяющей размытость изображения, является его фотографический смаз, вызываемый поступательными движениями, колебаниями и вибрациями самолета. Ширина смаза из-за поступательного движения самолета определяется по формуле

$$\xi_v = \frac{vtf}{H} \sin \theta, \quad (22)$$

где v — скорость самолета в м/сек, t — выдержка в сек, f — фокусное расстояние камеры АФА в мм, H — высота фотографиро-

вания в м, θ — угол между границей объекта и направлением полета.

Ширина смаза из-за колебаний самолета определяется из формулы

$$\xi_{\omega} = \omega t \frac{r^2 + f^2}{f}, \quad (23)$$

где ω — угловая скорость колебаний в рад/сек, r — расстояние от данной точки до центра аэроснимка в см*.

Смаз из-за колебаний самолета в большинстве случаев меньше, чем из-за его поступательного движения.

Вибрации самолета вызывают смазы, которые могут быть больше или меньше из-за поступательного движения самолета. Смазы изображения снижают разрешающую способность на 30—50%. Для уменьшения влияния смазов применяют специальные устройства.

Фотолабораторная обработка должна обеспечить получение изображения с оптимальными для визуального восприятия контрастами и в первую очередь для наименьших деталей изображения.

Воспроизведение на негативе контрастов оптического изображения зависит от степени проявления аэроплёнки и используемого для построения изображения участка характеристической кривой. При использовании прямолинейного участка характеристической кривой контраст получаемого изображения определяется величиной коэффициента контрастности γ , плотности вуали D_0 и светочувствительности. Все эти три показателя зависят от времени проявления, состава проявителя и его температуры. Чтобы выявить все детали скрытого изображения, нужно, казалось бы, проявлять негатив (позитив) до достижения максимальной светочувствительности, однако при этом растёт вуаль, поглощающая эти детали. Коэффициент же контрастности в этом случае уже не увеличивается или увеличивается крайне медленно. На практике установлено, что плотность вуали не должна быть больше 0,3. Этой плотности соответствует наибольшая светочувствительность. Величина γ зависит от характера ландшафта и высоты фотографирования (см. выше).

Для получения аэронегатива хорошего качества величина максимальной плотности его не должна быть очень высокой, так как с плотно проявленных аэронегативов трудно получить отпечаток хорошего качества. Большая величина максимальной плотности указывает или на большую передержку при аэрофотосъёмке, или на перепроявление.

Величина минимальной плотности должна быть не менее чем на 0,1 выше плотности вуали, так как в противном случае происходит снижение контрастности изображения на аэроснимке.

* Формулы (21), (22) и (23) приближенные. Они заимствованы из [44]. Более строгие формулы приводятся в работе [29].

По цветопередаче оптических неоднородностей земной поверхности на цветных натуральных и спектрзональных аэрофотоматериалах нет обобщающих исследований. Опубликованы эмпирические данные по сравнительной дешифрируемости объектов местности и их комплексов на разнотипных аэроснимках, выраженные обычно в процентах [15, 16, 17]. В то же время мало данных по цветовой характеристике природно-территориальных комплексов и по цветовому районированию земной поверхности, за исключением частных исследований по отдельным ландшафтам.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ АЭРОФОТОСЪЕМКИ ДЛЯ ЦЕЛИ ДЕШИФРИРОВАНИЯ

Параметры аэрофотосъемки должны выбираться применительно к географическим и оптическим условиям картографируемого района с тем, чтобы получить наиболее информативные и наиболее выразительные аэроснимки. Зная оптические свойства фотографируемого ландшафта, можно определить спектральную зону фотографирования, оптимальную светочувствительность, коэффициент контрастности и разрешающую способность аэроплёнки расчетным путем, который рассматривается в курсах аэрофотографии [29]. Используя полученные параметры фотографирования как предварительные, желательно для их уточнения произвести спектрофотометрическую и многоканальную аэросъемку по избранным типичным маршрутам.

Спектрофотометрическая аэросъемка не всегда дает положительные однозначные результаты, которые можно было бы использовать на практике. Это объясняется тем, что сочетания элементарных оптических однородных площадок местности очень многообразны и изменчивы и трудно получить эталонные кривые СКЯ исследуемых объектов.

Многоканальную аэросъемку необходимо производить разными аппаратами в нескольких узких участках спектра при сочетании разных типов аэроплёнок и светофильтров. Такую съемку следует приурочить к избранным типичным растительным аспектам, разной степени сомкнутости растительности, условиям увлажнения, высоте стояния Солнца над горизонтом, фактуре и цвету обнаженной поверхности и др.

Данные спектрофотометрической и многоканальной аэросъемки после соответствующей статистической обработки позволят выбрать оптимальные параметры аэрофотосъемки, связанные с фотографическим процессом.

Рассмотрим фотографические и геометрические параметры аэрофотосъемки.

Фотографические параметры*. Для выбора фотографических параметров аэрофотосъемки необходимо устано-

* В описании использованы материалы [20], [29].

вить критерии оценки качества аэрофотоизображения. Наиболее полную характеристику влияния отдельных факторов на качество аэрофотоизображения и оценку раздельного воспроизведения деталей фотографируемого объекта дает контрастно-частотная функция, характеристика которой приводится в курсах аэрофотографии. Весьма просто и достаточно наглядно раздельное воспроизведение мелких деталей на пороге разрешения можно получить по разрешающей способности фотографического изображения [29].

В настоящее время для аэрофотографирования рекомендуются изопанхроматические аэропленки типов 13, 15,

17 и 18. В условиях слабой освещенности применяют аэропленки типов 13 и 15, обладающие высокой светочувствительностью. Если условия освещения позволяют применять менее светочувствительные эмульсии, то используют пленку типа 17. При съемке малоконтрастного ландшафта и при сильной дымке, если позволяют условия освещения, рекомендуется пленка типа 18. Спектральная чувствительность $\log S_{\lambda}$ этих пленок показана на рис. 14.

В топографическом производстве наибольшее применение получила аэропленка панхром типа 15 со светочувствительностью 800 ед., с коэффициентом контрастности 1,7—2,3 и разрешающей способностью 85 лин/мм. Аэроснимки на ней обладают сравнительно хорошей дешифрируемостью для подавляющего большинства топографических объектов.

Инфрахроматическая аэропленка И-760 дает хороший эффект при съемке растительного покрова, для опознавания увлажненных участков, для уточнения водных границ, а также при съемке с больших высот в условиях повышенной задымленности атмосферы. Однако некоторые объекты на этой пленке воспроизводятся хуже, чем при съемке в видимой зоне спектра, например, светлые дороги сливаются с травянистой растительностью, возможна потеря деталей в тенях. Светочувствительность аэропленки И-760 равна 300—400 ед., коэффициент контрастности — 1,6—2,6, разрешающая способность — 68 лин/мм.

Цветные спектрально-зональные аэропленки, предназначенные для усиления и преобразования естественных цветовых контрастов, имеют два или три эмульсионных слоя, каждый из кото-

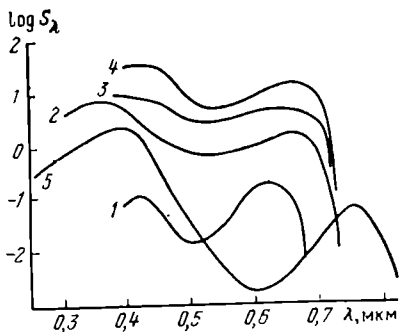


Рис. 14. Кривые спектральной чувствительности основных сортов аэропленок:

1 — панхром; 2 — изопанхром низкой светочувствительности (тип 18); 3 — изопанхром средней светочувствительности (тип 17); 4 — изопанхром высокой светочувствительности (тип 15); 5 — инфрахром (И-760).

рых очувствлен к одной из зон спектра: синей, зеленой, красной и инфракрасной. Наибольшее практическое значение в настоящее время имеет двухслойная спектрзональная аэропленка СН-6М. Ее светочувствительность за желтым светофильтром равна 400 ед., коэффициент контрастности—1,7—2,6. Эта аэропленка рекомендуется для дешифрирования растительности и увлажненных участков и для уточнения границ водоемов. Аэропленки для натурального цветовоспроизведения имеют три эмульсионных слоя, очувствленных к синей, зеленой и красной зонам спектра. Различают негативные и обратимые аэропленки. На практике обычно используются цветные негативные аэропленки ЦН-3 со светочувствительностью 80 ед., разрешающей способностью 58 лин/мм и коэффициентом контрастности 0,8—1,2. Аэроснимки на цветных пленках эффективнее других для дешифрирования красочных ландшафтов некоторых горных районов, осенних смешанных лесов, крупных озелененных городов.

Из параметров объектива АФА, сказывающихся на дешифрируемости аэроснимков, имеют значение угол зрения, фокусное расстояние, светосила и просветление, разрешающая способность, тип светофильтра.

Светосила объективов должна быть достаточно высокой, чтобы обеспечить надлежащие дешифровочные свойства аэроснимков, получаемых с быстродвижущегося самолета, т. е. при коротких экспозициях. Объективы должны давать возможно большую равномерность распределения освещенности по кадру, причем для цветной аэрофотосъемки широкоугольными АФА необходимы оттенители, выравнивающие «центральное пятно», но не меняющие спектрального состава света. Применение просветленной оптики улучшает общую насыщенность аэрофотоизображения местности, передачу деталей и оптических контрастов между объектами.

Разрешающая способность объективов не учитывает падение контраста предельно разрешаемой детали аэрофотоизображения. В силу этого для оценки объективов введена контрастно-частотная характеристика их способности передавать изображение.

Комбинирование разных по типу и кратности светофильтров с различными по сенсбилизации аэропленками обеспечивает получение аэрофотоизображения в лучах избранной узкой зоны спектра или, наоборот, в широких пределах с исключением только какой-либо нежелательной в данном случае отдельной зоны.

На резкость изображения объектов влияют скорость действия затвора АФА, диафрагмирование камеры и стабилизация фотографирующей системы.

Увеличение скорости затвора обеспечивает использование всей светочувствительности аэропленки и нейтрализацию смазов изображения. В связи с этим важно заранее определить диапа-

зои выдержек, учитывающих различия в ландшафтах, возможности системы АФА — аэропленка и навигационно-технические условия. Сейчас внедряются фотоэлектронные умножители, позволяющие автоматически изменить выдержки или диафрагмировать относительное отверстие объектива в зависимости от интегральной оптической характеристики фотографируемой местности.

Стабилизация АФА в полете связана с дешифрированием в том отношении, что необходимые для его осуществления плановые аэроснимки с резким и четким фотоизображением могут быть получены только при малых углах наклона оптической оси камеры и минимальном воздействии различных колебаний.

Регулирование негативного процесса на основе сведений о съёмочном полете, сенситометрического контроля и метода проб позволяет: 1) до некоторой степени компенсировать воздействие неблагоприятных условий экспонирования (сочетание на местности ярко освещенных и сильно затененных участков, наличие значительной дымки и др.) и 2) усилить некоторые особенности аэрофотоизображения, существенные для дешифрирования. В качестве ориентировочных критериев следует учесть, что наилучшая распознаваемость деталей аэрофотоизображения обеспечивается при следующих значениях коэффициента контрастности черно-белых негативов: для горных районов — 0,8—1,0, для равнинных — 1,4, в особых случаях для малококонтрастных объектов — 1,6. Для спектральных негативов соответствующие показатели должны быть примерно на 20% выше.

Отпечатки аэроснимков для дешифрирования изготавливаются преимущественно на фотобумаге. С цветных аэрофильмов наряду с отпечатками на цветной фотобумаге могут изготавливаться и черно-белые отпечатки, которые по дешифрируемости несколько превосходят отпечатки с панхрома, что позволяет применять их для вычерчивания отдешифрированной ситуации.

В последнее время стали применяться электронные копировальные приборы, рассчитанные на автоматическую дифференциацию освещенности по каждому участку экспонируемого негатива. Для цветного позитивного процесса предусматривается регулирование не только яркости, но и спектрального состава света.

Отпечатки на фотопленках и стеклянных фотопластинках обладают лучшими изобразительными свойствами, чем соответствующие отпечатки на фотобумаге. Применение их для дешифрирования стало возможным с внедрением приборов, наблюдение на которых ведут в проходящем свете. Однако основные объемы дешифрирования выполняются по контактным и увеличенным отпечаткам на фотобумаге.

Геометрические параметры. Масштаб аэрофотографирования для цели дешифрирования можно рассчитать по формуле [44]

$$\frac{1}{m} \geq \frac{1}{AR_c}, \quad (24)$$

где m — знаменатель масштаба, A — минимальный размер снимаемых объектов, R_c — суммарная разрешающая способность объектива и аэроплёнки.

Трудность выбора масштаба аэрофотографирования состоит в том, что значение A достаточно неопределенно. На практике, в зависимости от задач дешифрирования, масштаба съемки, географических особенностей местности, технических возможностей и других причин масштабы аэрофотографирования колеблются в больших пределах — от 1:2 000 до 1:200 000. Конкретные требования к масштабу аэрофотографирования регламентируются в инструкциях по топографической или специальной съемке.

С масштабом аэрофотографирования тесно связана проблема увеличения аэроснимков. Очевидно, выгоднее снимать в возможно более мелком масштабе, а затем, по мере надобности, произвести фотографическое или оптическое увеличение аэроснимков. При этом следует учитывать, что: 1) всякое увеличение не прибавляет информационную емкость аэроснимка, а только выявляет уже зафиксированную на снимке информацию, так как разрешающая способность глаза ниже разрешающей способности фотографии; 2) для реализации результатов дешифрирования масштаб аэроснимка должен быть равен масштабу создаваемой карты, так как в противном случае рисунок условных знаков будет крупнее фотоизображения соответствующего объекта; 3) предел увеличения зависит от размеров зерен эмульсии светочувствительного слоя, однако можно увеличивать и более этого предела, но тогда изображение получится нерезкое и дешифрирование производится по характеру кривой размытости фотоизображения и по плавности перехода от тени к свету при микрофотометрическом анализе; 4) с технологической и фотограмметрической точек зрения коэффициент увеличения при крупномасштабной топографической съемке выбирается с таким расчетом, чтобы один аэроснимок покрывал по возможности один планшет съемки соответствующего масштаба.

Высота аэрофотосъемки, ее базис и фокусное расстояние объектива АФА обуславливают масштаб аэроснимков в плане и вертикальный масштаб стереомодели местности, а следовательно, и точность измерительного дешифрирования. При прочих равных условиях уменьшение высоты фотографирования ведет к увеличению вертикального масштаба стереомодели по сравнению с горизонтальным, т. е. к усилению стереоэффекта и, следовательно, способности глаза к восприятию мелких деталей изображения. Именно для этой цели применяют короткофокусные АФА, но они в то же время по понятным причинам да-

ют худшее качество фотоизображения, чем длиннофокусные АФА. Для снижения съемочной высоты имеется предел, обусловленный смазом аэрофотоизображения и смещением последнего, если местность имеет пересеченный рельеф. Изменение высоты аэрофотосъемки требует и изменения условий экспонирования и обработки фильмов. Так, при ее увеличении выдержки пропорционально сокращают, а проявления ведут до больших величин коэффициентов контрастности. Съемка на аэропленке для натуральной цветопередачи, выполняемая без светофильтра, имеет по высоте ограничения по сравнению со съемкой на панхrome. При аэрофотосъемке на цветных спектрзональных аэропленках, имеющих инфрахроматический слой и экспонируемых с плотным светофильтром, наоборот, относительные их преимущества перед черно-белой аэропленкой с увеличением высоты фотографирования возрастают.

Для измерительного дешифрирования на нетрансформированных аэроснимках необходимо, чтобы искажения за углы наклона оптической оси АФА и за рельеф местности при аэрофотосъемке были как можно меньшими. Это достигается с помощью амортизационных и гиростабилизирующих установок и увеличением высоты фотографирования или увеличением фокусного расстояния АФА.

ВЫБОР ВРЕМЕНИ ПРОИЗВОДСТВА АЭРОФОТОСЪЕМКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОПТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ЦЕЛИ ДЕШИФРИРОВАНИЯ

Одна из важных и в то же время трудных задач аэрофотографирования состоит в обеспечении стационарности фотографического поля изображения и в выборе такого момента аэрофотографирования, когда состояние снимаемой местности дает возможность извлечь максимум информации при дешифрировании аэроснимков в зависимости от его цели. Здесь приходится иметь дело с управляемыми и неуправляемыми причинами.

Стационарность фотографического поля изображения можно обеспечить постоянством освещенности снимаемой местности и стандартизацией технологии фотографического процесса. Это управляемые причины. Их можно учитывать следующим образом:

— Стандартизацией освещения местности. Это достигается автоматическим регулированием экспозиции, фильтрацией избыточного освещения, применением лазерной съемки и выполнении съемки в облачную погоду.

— Автоматизацией фотолабораторного процесса с целью избавления от случайных факторов экспонирования, проявления и фиксации аэрофотоизображения.

— Преобразованием (фильтрацией) аэрофотоизображения, в частности, помещением его в средней части прямолинейной характеристической кривой.

К неуправляемым причинам относится изменчивость яркости ландшафта в связи с его многолетними, сезонными, погодными и суточными изменениями и ритмикой. В этом случае приходится выбирать время аэрофотосъемки, приуроченное к определенному стандарту спектральной яркости ландшафта, который устанавливается в зависимости от цели дешифрирования. Остановимся на этом вопросе.

Многолетние изменения местности. Они могут быть ритмичные и необратимые. К ритмичным относится главным образом изменение влажности климата от года к году. В относительно сухие годы контуры местности, обусловленные физиономическим различием растительности, могут быть менее контрастны, чем в относительно влажные. Влияние сухости климата можно проиллюстрировать на отклонении фенофаз от средних сроков. В аридных областях оно достигает ± 10 —15 дней, в гумидных ± 4 —8 дней.

К необратимым относятся многолетние изменения ландшафтов в силу их естественного развития или из-за вмешательства хозяйственной деятельности человека. Примерами могут служить изменения русел рек, рост оврагов, появление новых населенных пунктов, распашка целины и т. д.

Многолетние изменения следует учитывать при оценке дешифровочных признаков, если используются для дешифрирования аэроснимки старых залетов.

Сезонные изменения аспекта ландшафта. Они сводятся к смене фенофаз растительности, к изменению режима водных объектов, к изменению влажности и засоления почвогрунтов, к сельскохозяйственной обработке культурной растительности и т. д. Сезонные изменения приходится учитывать при проектировании аэрофотосъемки, используя для этой цели климатические, агроклиматические и фенологические справочники.

Приведем вкратце особенности сезонной ритмики ландшафтов в различных природных зонах СССР, влияющие на аэрофотоизображение.

В тундровой зоне различия в окраске кустарниковой, моховой и лишайниковой растительности отчетливее проявляются в последний месяц лета, когда уровень воды в реках меженьный, а площадь паледей и снежников наименьшая. Для аэрофотографирования на черно-белой и цветной аэропленке это время наилучшее. Цветную спектральнозональную пленку можно применять на протяжении всего летнего сезона.

В лесной зоне выбор времени аэрофотосъемки зависит от многих причин. Густые смешанные леса применительно к дешифрированию лучше снимать при наибольших различиях в облике крон деревьев, а исходя из стереофотограмметрических требований — когда листва у деревьев отсутствует. Съемка на черно-белой пленке для дешифрирования рекомендуется весной, когда неполное развитие крон лиственных деревьев и листвен-

ницы позволяет отличать их от вечнозеленых хвойных по структуре аэрофотоизображения, и в конце лета — начале осени, когда лиственные деревья и лиственница передаются более светлым фототонном, чем остальные хвойные породы. При съемке смешанных лесов в их осенней раскраске очевидны преимущества аэропленки для натурального воспроизведения цветов. Лучший эффект дает съемка на цветную спектрзональную аэропленку за период с поздней весны до начала осени.

В степной целинной и пустынной зоне лучшим временем воздушного фотографирования являются начало лета и осень. В это время отчетливо выражены различия в степях между разнотравьем и злаками, а в пустынях — между злаками и полукустарниками. Весной развитие эфемеров временно вуалирует другую травянистую и полукустарниковую растительность. Кроме того, пересыхающие водоемы содержат в этот период воду, а солончаки и такыры переувлажнены и по фотоизображению напоминают озера. Аэрофотосъемка с середины лета до осени нежелательна из-за устойчивой пылевой дымки.

Для дешифрирования степных и пустынных ландшафтов цветные аэроснимки не имеют существенных преимуществ перед черно-белыми.

Время аэрофотосъемки распаханых степей для топографического дешифрирования определяется требованиями привязки аэроснимков и стереоизмерений. Наиболее подходящим будет период, когда посевы еще не взошли или имеют небольшую высоту, т. е. весной и в начале лета, а также после уборки урожая. Для сельскохозяйственного дешифрирования лучшее время аэрофотосъемки в период наибольшей дифференциации изображения полевых культур, т. е. в первой половине лета. В этом случае цветная аэропленка имеет преимущества перед черно-белой.

Сезонные изменения гидрологического режима водных объектов требуют конкретизации сроков аэрофотосъемки применительно к региональным географическим особенностям.

Погодные изменения аспекта ландшафта. Дни с осадками исключаются из числа аэрофотосъемочных дней. Дни с облачностью в большинстве случаев также нежелательны. Из остальных погодных явлений, отражающихся на яркости ландшафтов, наибольшее значение имеет изменение влажности поверхности и запыленность атмосферы. Повышение влажности после дождя приводит к смыву пыли, восстановлению жизнедеятельности организмов и повышению дифференциации увлажненности почво-грунтов. Все это приводит к повышению контрастов между соседними объектами. Запыленность воздуха в засушливых ландшафтах, особенно при скорости ветра более 10 м/сек, вуалирует контрасты и, в частности, структурный рисунок аэрофотоизображения. Все это следует учитывать при выборе сроков и материалов

аэрофотосъемки и, на основании климатических справочников, выявлять число дней с дождями, с пылевыми бурями и с соответствующими типами погоды.

Суточные изменения освещенности. Суточная динамика яркости элементов ландшафта связана с изменениями в течение дня интенсивности и спектрального состава солнечной радиации, с изменением физических свойств почвенного покрова, состоянием растительности и изменением площади микротеней. Степень затененности элемента ландшафта при определенной высоте Солнца зависит от проективного покрытия почвы растительностью и отношения высоты растений к их диаметру (H/d).

Повышение дешифровочных свойств аэрофотоизображений может быть достигнуто подбором оптимального времени суток для аэрофотосъемки, характеризующегося максимальными контрастами между растительными группировками.

В лесных районах аэрофотосъемка должна производиться при высоком стоянии Солнца ($40-60^\circ$), так как при низком его положении не только полностью затеняется и не изображается на аэроснимках напочвенный покров, но тенью покрывается и большая часть деревьев второго яруса.

В пустынных районах при разреженном растительном покрове, где проективное покрытие почв растительностью изменяется от 1 до 20% (реже до 50%), а величина H/d травянистых растений колеблется примерно от 20 до 50, аэрофотосъемку целесообразно проводить при низком стоянии Солнца ($15-30^\circ$).

В степных районах с группировками, имеющими проективное покрытие 30—60% и величину H/d , варьирующую от 2 до 80, максимальные яркостные контрасты, обусловленные разницей в затенении почвы, наблюдаются при высоте Солнца 60° . Большие различия в яркостях этих группировок наблюдаются также при малых высотах Солнца ($20-30^\circ$), так как в это время нижний ярус растительной группировки затеняется редко стоящими злаками первого яруса.

При высотах Солнца меньше $20-15^\circ$ аэрофотосъемку производить нецелесообразно из-за большой доли рассеянной радиации, уменьшающей плотность теней и снижающей контраст внутри группировок [43].

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЕШИФРИРОВАНИЯ

ЛАНДШАФТЫ, ИХ КОМПОНЕНТЫ И СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ. ВНЕШНИЕ И ВНУТРЕННИЕ ЭЛЕМЕНТЫ СТРОЕНИЯ ЛАНДШАФТА

Объекты местности встречаются не случайно, а образуют закономерные сочетания, называемые природно-территориальными комплексами. Изучив такие сочетания, можно установить и использовать косвенные и комплексные дешифровочные признаки. Поэтому для успешного дешифрирования аэроснимков тщательно изучают географические особенности природно-территориальных комплексов по литературным, картографическим и аэро съемочным источникам и путем рекогносцировочных обследований местности. После этого производят районирование территории и устанавливают дешифровочные признаки применительно к выявленным районам.

В качестве основной единицы природно-территориальных комплексов принят *географический ландшафт*, под которым подразумевается территория, однородная по происхождению и истории развития, обладающая единым геологическим фундаментом, однотипным рельефом, общим климатом, единообразным сочетанием гидротермических условий, почв, растительных и животных сообществ. Геологический фундамент, рельеф, климат, гидрография, почвы, растительные и животные сообщества называются *компонентами ландшафта*.

В качестве примера приведем ландшафт Окско-Москворецкой равнины. Характерной особенностью его является развитие типичного эрозионного рельефа. Густая эрозионная сеть обуславливает хорошую дренированность междуречий, поэтому озера и болота для ландшафта не характерны. Преобладают серые лесные почвы под дубравами на покровных лёссовидных суглинках.

При сравнении ландшафтов наиболее резкие различия обнаруживаются в их морфологической структуре, т. е. во внешнем физиономическом признаке каждого ландшафта. Выделяются две основные морфологические единицы ландшафта: фации и урочища.

Фация — наиболее простой природно-территориальный комплекс. В пределах фации обнаруживается однородность природных условий, так как на всем ее пространстве господствуют однородные микроклимат, горные породы, формы рельефа, почвенная разность и элементарное растительное сообщество (ассоциация). Например, в овраге можно выделить фации:

склона северной экспозиции, склона южной экспозиции и дно оврага.

Более сложным природно-территориальным комплексом, состоящим из фаций, тесно связанных друг с другом, является *урочище*. Примеры урочищ: задернованный овраг, пойма реки, плоское междуречье, заболоченная котловина и др. Набор сопряженных и закономерно повторяющихся урочищ образует ландшафт.

Многие урочища имеют столь отчетливую и характерную для них морфологическую структуру, что только по этому признаку хорошо распознаются на аэроснимках. Ландшафтный метод дешифрирования (см. I гл.) основан главным образом на изучении комплексных дешифровочных признаков, отражающих структуру урочищ.

В ландшафте можно выделить внешние и внутренние элементы строения. Внешние элементы (рельеф, гидрография, растительность) изображаются на аэроснимках и могут дешифроваться по прямым дешифровочным признакам. Внутренние элементы (например, почвы) не изображаются на аэроснимках и дешифрируются по косвенным дешифровочным признакам. Для косвенного дешифрирования необходимо изучить степень отражения внутреннего строения ландшафта во внешних элементах его, т. е., другими словами, определить индикаторную роль внешних элементов ландшафта.

ИНДИКАТОРЫ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ ЛАНДШАФТА *

Одним из важнейших индикаторов внутреннего строения ландшафта является рельеф. Между особенностями рельефа, с одной стороны, и формировавшими его процессами, геологическими структурами, подземными и поверхностными водами, почвенным покровом, растительностью и другими элементами природы — с другой, существуют определенные соотношения.

Геологическая структура и новейшие тектонические движения проявляются в характере взаимного расположения, густоте и глубине вреза речных долин, в ориентировке и конфигурации водораздельных возвышенностей и в других чертах рельефа. Чем сильнее и глубже расчленена земная поверхность, тем полнее и отчетливее отражается в рельефе геологическое строение местности. Современная динамика рельефа также отражается в его характерных формах. Так как в одно и то же время в пространстве наблюдаются различные стадии развития однотипных форм рельефа, то, прослеживая эти стадии, мы можем судить о направленности геоморфологического процесса и степени его усиления или затухания на данной территории.

В качестве иллюстрации развития рельефа рассмотрим аэроснимок полигональной тундры (см. рис. 3). В середине верхней

* Для этого раздела использована работа [2].

части аэроснимка развитие полигонов только намечается, о чем можно судить по едва заметным трещинам полигонов. На краях верхней части аэроснимка полигоны достигли полного развития, что отражается в четко различимых по тону и рисунку валиках вдоль трещин полигонов. В нижней части аэроснимка видна конечная стадия развития полигонов и превращения их в озерково-полигональный комплекс. Об этом можно судить по наличию темных пятен водной поверхности в центре полигонов, а также по большим темным пятнам озер, образовавшихся за счет слияния полигонов.

Рельеф определяет условия увлажнения и дренажа, пути переноса и условия накопления минеральных и органических веществ, влияет на уровень грунтовых вод, интенсивность склоновых процессов и соответственно на процессы почвообразования. Крутизна и экспозиция склонов определяют развитие соответствующей растительности, связанной с количеством солнечной энергии, мощностью снежного покрова, механическим составом лючв и др. Например, на разной крутизне склонов и на разных элементах микрорельефа полигональной тундры произрастают разные растительные сообщества (см. табл. 10).

Индикаторные свойства растительного покрова основаны на тесных связях его с условиями местообитания. Так, например, в бассейне Северной Двины в одинаковых условиях климата и равнинного рельефа на моренных суглинках растут еловые леса, под которыми развиваются средне- и слабоподзолистые почвы, а на флювиогляциальных песках распространены сосновые леса, под которыми формируются сильноподзолистые почвы.

Зональная растительность в типичном виде представлена на плакорных местообитаниях — равнинных хорошо дренированных междуречьях, сложенных с поверхности породами среднего механического состава. В других же условиях рельефа и соответственно в иных гидрологических и почвенных условиях среды — на склонах различной крутизны и экспозиции, в речных долинах, озерных котловинах, в понижениях, на возвышенностях, выходах коренных пород и др. — развиты различные варианты нетипично зональной растительности.

Основными индикаторными признаками растительных сообществ, отображающихся на аэроснимках, являются: 1) их общий физиономический облик, обусловленный преобладанием тех или иных жизненных форм (деревьев, кустарников, трав и др.), размерами, особенностями строения; 2) видовой состав и 3) структура — ярусность и характер распределения отдельных видов и экземпляров растений внутри сообщества. Роль растительности как индикатора можно показать на примере влияния на нее почвообразующих пород (рис. 15). Густота лиственного леса меняется в зависимости от чередования глинистых и известковых почвообразующих пород, что также хорошо подчеркивает горизонтальный характер залегания пород.

Растительный покров имеет сравнительно широкую экологическую амплитуду*, что ограничивает его индикационное значение. В связи с вышесказанным растительные индикаторы могут быть надежно использованы при дешифрировании только при условии глубокого изучения на типичных участках экологии

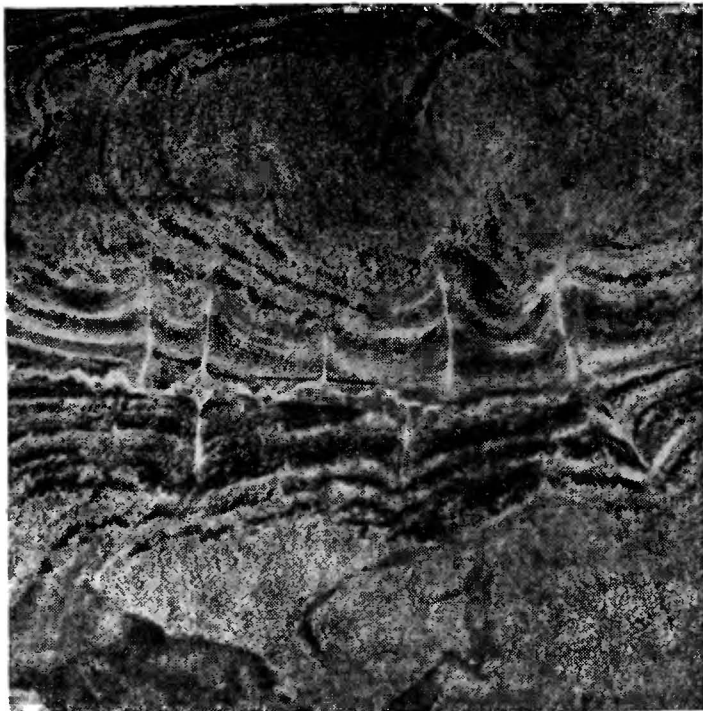


Рис. 15. Растительность как индикатор почвообразующих пород

растений и тщательного анализа изображения растительности на аэроснимках.

Среди элементов гидрографии особенно важное значение в качестве индикатора имеет речная сеть. Реки, будучи приурочены к наиболее низким абсолютным отметкам местности, в силу их деятельности, режима и законов движения обуславливают протекание на прилегающих к ним участках своеобразных физико-географических процессов, в результате которых здесь формируются особые типы природных комплексов, характеризующиеся своеобразными формами рельефа, чертами геологического строения верхних слоев, уровнем грунтовых вод, условия-

* Экологией называется отношение организмов с окружающей средой.

ми микроклимата и соответствующими почвенными разностями и растительными группировками. Так, например, на рис. 16, по мере удаления от русла реки, сменяются следующие фации: 1) речная пойма с ивовым кустарником на супесчаных дерново-подзолистых почвах, 2) первая надпойменная терраса с низкорослым ельником на суглинистых подзолистых почвах, 3) дугообразно изогнутые вытянутые заболоченные старичные пониже-



Рис. 16. Индикационное значение реки для почвы и растительности

ния на первой надпойменной террасе, 4) вторая надпойменная терраса с разреженным сосновым бором на песчаных сильно подзолистых почвах.

Густота речной сети отражает различные условия залегания слоев горных пород, тектонические нарушения и историю развития местности. Речная сеть характеризуется различными типами рисунков: радиальным, древовидным, параллельным, перистым, решетчатым и др. Радиальный тип отражает антиклинальное или синклинальное залегание слоев; древовидный — слабо наклонное или горизонтальное залегание; параллельный — параллельное направление геологической структуры; решетчатый свойствен складчатым областям с длинными складками. Аномальные изгибы рек в районах распространения однородных отложений обычно связаны с новейшими тектоническими движе-

ниями. В горных районах часто встречаются прямолинейные долины, приспособленные к линиям разрывных тектонических нарушений. Они имеют иногда резкие коленчатые изгибы.

ОПТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛАНДШАФТОВ, ИХ КОМПОНЕНТОВ И СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ *

Рассмотрим основные свойства оптических характеристик компонентов ландшафта: растительности, почв и горных пород.

Оптические характеристики растений зависят от различий показателей преломления веществ, входящих в структурные элементы их тканей, и определяются составом пигментов, их вегетативных органов, содержанием в тканях влаги и пузырьков воздуха и характером покровных тканей. В благоприятных условиях произрастания растения имеют более продолжительный вегетационный период и характеризуются меньшей отражательной способностью, чем растения, развивающиеся в менее благоприятных условиях. На отражательную способность растительных сообществ большое влияние оказывает их морфология (проективное покрытие, ярусность, тип сомкнутости и т. д.).

Оптические характеристики распаханной почвы определяются главным образом содержанием в них гумуса и подвижных окислов железа, влажностью, гранулометрическим и минералогическим составом почв и фактурой их поверхности.

При повышении влажности почв от воздушно-сухого состояния до полной влагоемкости их коэффициенты яркости снижаются примерно в два раза. Яркость минеральной части почв возрастает с уменьшением размеров составляющих их частиц. Неоднородность фактуры почв обуславливает светотеневую мозаику почвенного покрова и является причиной изменения соотношения яркостей контуров почвенного покрова при изменении высоты Солнца.

Яркость горных пород определяется коэффициентом отражения их поверхности и коэффициентом «внутреннего» рассеяния. Последнее возрастает с увеличением различий показателей преломления составляющих породу минералов, а также с увеличением количества пор, занятых воздухом, относительно которого показатели преломления минералов имеют максимальную величину.

Коэффициент яркости монолитных пород выше, чем тех же пород в грубообломочном состоянии. Яркость мелкообломочных пород с уменьшением размера частиц возрастает.

Яркость пористых и рыхлых пород при увлажнении до полной влагоемкости снижается в среднем примерно вдвое. В наибольшей степени при увлажнении снижается яркость пород, содержащих в своем составе минералы с высокими

* Раздел написан по материалам [43].

коэффициентами поглощения и малыми показателями преломления.

Кислые изверженные горные породы в целом обладают более высокой отражательной способностью, чем средние, а последние — более высокой, чем основные и ультраосновные. Однако встречаются отклонения от этого правила, связанные с наличием химических элементов, являющихся сильными хромофорами (носителями красок), и со структурными особенностями пород.

Оптические исследования ландшафтов следует начинать с исследования фаций. Составные части фаций, различающиеся между собой не менее чем на 10% свойствами почв, растительности и других компонентов ландшафта, а следовательно, и оптической характеристикой, и превышающие в поперечнике 25 см (предел разрешения деталей местности на аэроснимках крупного масштаба), называются *фрагментариями*.

После изучения оптической характеристики отдельных фрагментариев следует переходить к изучению оптических и морфометрических характеристик фаций в целом и к фациальной структуре ландшафта.

На основании далеко не полных данных по количественной характеристике оптических свойств ландшафтов можно дать следующую оптическую характеристику тундровой, лесной и степной зонам.

В тундровой зоне наиболее широко распространены ландшафты с доминированием неярких компонентов, имеющих максимум отражения в зеленой зоне спектра и некоторый провал кривой СКЯ в зоне 660—680 нм; здесь распространены, кроме того, покровные лишайники, имеющие более высокую отражательную способность. Наибольших значений контраст между компонентами ландшафта достигает в зеленой и инфракрасной зонах спектра.

В тундровых ландшафтах распространены фации со среднеизрытой поверхностью, обладающей индикатриссой отражения, несколько вытянутой в сторону Солнца (лишайниково-кустарничковые и кустарничковые тундры); встречаются также слабоизрытые фации, индикатриссы отражения которых близки к полусферическим (плотные моховые покровы).

Различия яркостей фрагментариев фаций довольно малы, основная часть фрагментариев имеет размеры менее 1 м, а поперечник фаций не превышает нескольких десятков метров.

В лесной зоне преобладают среднеяркие ландшафты, кривые СКЯ которых характеризуются наличием максимума в зеленой и инфракрасной зонах спектра. Широкое распространение здесь имеют компоненты культурного ландшафта, кривые СКЯ которых отличаются более сглаженной формой. Для лесных ландшафтов характерна наибольшая величина фактора гладкости,

а поэтому индикатрисса их отражения значительно вытянута в сторону Солнца.

Фрагментарии лесных массивов характеризуются резкими различиями в яркости, связанными с наличием освещенных и затененных элементов крон и промежутков между ними. Вследствие этого разброс оптических плотностей их фотографического изображения имеет большую величину.

Компоненты ландшафта, характеризующиеся кривой СКЯ одного вида, занимают большую площадь — сотни и тысячи квадратных метров.

В степной зоне преобладают ландшафты, характеризующиеся более высокой яркостью и имеющие максимум кривой СКЯ в зеленой зоне спектра. Кривые СКЯ в полосе 680—690 нм имеют меньший провал, чем кривые ландшафтов лесной зоны. Большинство ландшафтов этой зоны обладает довольно высоким значением фактора гладкости и характеризуется индикатриссой отражения, несколько вытянутой в сторону освещения.

Летом степные ландшафты, представленные дренируемыми массивами степей с сухолюбивыми фациями и обводненными фациями западин, имеющими ярко-зеленый растительный покров, характеризуются широким диапазоном яркости. Разброс яркостей и размеров фрагментариев в пределах фаций мал, за исключением солонцовых фаций с комплексным почвенно-растительным покровом, которые характеризуются большим разбросом яркостей и широким варьированием их фрагментариев.

Площадь, занимаемая однородными компонентами ландшафта степной зоны, характеризующимися одним видом кривой СКЯ, обычно небольшая и составляет в поперечнике от нескольких десятков до сотен метров.

КОСВЕННОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ОБЪЕКТАМИ МЕСТНОСТИ

Корреляционная связь между внешними элементами однотипных природных комплексов, с одной стороны, и изучаемыми внутренними элементами этих комплексов, с другой стороны, может выражаться степенью вероятности этой связи в процентах. Степень вероятности определяет устойчивость географических связей. Для определения количественных показателей объектов местности внутренних элементов ландшафта составляют и решают корреляционные уравнения, связывающие известные показатели с определяемыми. Покажем возможности использования корреляционных связей для косвенного дешифрирования на отдельных примерах.

Дешифрирование растительно-грунтовых контуров по вероятностной связи их с рельефом. В качестве примера однородных контуров возьмем такыры, солончаки и болота в-пустынных ландшафтах. Они имеют общие

прямые дешифровочные признаки. Их легко обнаружить на аэроснимках по тональному контрасту, но трудно отличить один от другого, так как изображаются на аэроснимках разным и изменчивым, в зависимости от сезона года, тоном от белого до темно-серого. Для отделения такыров, болот и солончаков при дешифрировании была изучена связь их с рельефом по крупномасштабным топографическим картам. Результаты изучения оказались следующие.

Такыры всегда расположены в бессточных областях при полном отсутствии линейного стока; болота — в долинах рек или в озерных котловинах. Солончаки встречаются всюду. В долинах и в озерных котловинах солончаки встречаются значительно чаще; они переплетаются с контурами болот и часто переходят друг в друга. Таким образом, по положению относительно понижений рельефа, связанных с гидрографией, легко отделить такыры от болот и нельзя отделить солончаки от болот. В областях, лишенных гидрографии, нельзя отделить такыры от солончаков. В этом случае представляет интерес вероятность связи такыров и солончаков с котловинами. Оказалось, что у такыров связь с котловинами очень слабая. Процент встречи такыров в котловинах для каменистых, глинистых и щебеночных равнин оказался 6,0, а для песчаных — 1,6. У солончаков, наоборот, эта связь очень тесная. Процент встречи проходимых солончаков в котловинах для каменистых, глинистых и щебеночных равнин — 85,3, а для песчаных — 71,1. Для непроходимых солончаков во всех случаях процент связи равен 100. Таким образом, вероятность приуроченности такыров и солончаков к котловинам может служить достаточно надежным косвенным дешифровочным признаком.

Приведем еще пример корреляционной связи между крутизной склона и растительностью и между микрорельефом и растительностью для тундровых ландшафтов. Вероятность этих связей по ориентировочной оценке более 80—90%.

С увеличением крутизны склонов улучшаются условия дренажа и ухудшаются условия задержания мелкозема и снега, а все это отражается на характере растительного покрова. Зависимость растительного покрова от крутизны склонов, выявленная по данным географических описаний и по топографической карте масштаба 1:100 000, показана в табл. 9.

Примерные углы наклона поверхности выбраны исходя из следующих соображений: угол 2° является нижним пределом солифлюкционного течения грунта*, которое отображается на аэроснимках струйчатой тональной структурой; угол 15°, как показывает анализ карты, — верхний предел сплошного распространения тундровой растительности; угол 25° — верхний предел распространения любой тундровой растительности, заслуживаю-

* Солифлюкция — течение переувлажненного грунта при оттаивании, наблюдающееся на склонах в области развития вечной мерзлоты.

Таблица 9

Характер склона	Примерный угол наклона	Условия дренажа и задержания мелкозема	Ожидаемый растительный покров
Очень пологий	До 2°	Дренаж отсутствует. Мелкозем и снег задерживаются	Моховые и осоковые болота
Пологий	2—15°	Солифлюкционное течение мелкозема, снег задерживается	Все виды тундровой растительности. При малых углах наклона преобладают луг и заболоченная тундра
Средний	15—25°	Солифлюкционное течение мелкозема и слабое передвижение снега	Все виды тундровой растительности в чередовании с каменистой поверхностью и россыпями
Крутой	25—45°	Мелкозем частично задерживается, снег не задерживается	Каменистая поверхность и россыпи с редким разорванным лишайниково-к. старничковым покровом
Очень крутой	Более 45°	Мелкозем и снег не задерживаются	Отсутствует

щей изображения на топографической карте; угол 45° — предел естественных откосов.

Очень часто формы микрорельефа отображаются на аэро- снимке настолько четко, что их можно дешифровать почти безошибочно. В то же время между микрорельефом и растительностью существует хорошо выраженная взаимосвязь. В табл. 10 приведены показатели зависимости растительности от некоторых форм микрорельефа тундры.

Дешифрирование растительно-грунтовых контуров как компонентов урочищ. Многие урочища изображаются типичной тональной структурой и, если удастся отождествить урочище с его аэрофотоизображением, то с почти 100-процентной вероятностью можно определить составляющие его компоненты. Рассмотрим дешифрирование растительно-грунтовых контуров по тональной структуре изображения крупнобугристой тундры (см. рис. 4).

Микрорельеф крупнобугристой тундры представляет собой чередование бугров с мочажинами. Высота бугров 3—8 м, поперечник 30—200 м, форма — округлая или караваеобразная. Бугры расположены группами или поодиночке. Вершины, склоны и промежутки между буграми имеют определенную тональную структуру изображения и определенный комплекс растительности. Вершины бугра имеют слабую пятнистую и зернистую структуру. Пятнистая структура представлена сочетанием лишайников со щебнем, песком, торфом и каменистыми россыпями; зернистая — кустарничками, главным образом карликовой березой. Склон бугра, как правило, неопределенного серого тона со сложным комплексным мозаичным контуром тундровой растительно-

Таблица 10

Тип	Микрорельеф тундры		Ожидаемый растительный покров
	Характеристика	Дешифровочные признаки	
Трещиновато-полигональный	Узкие трещины, разбивающие поверхность на неправильные полигоны. Ширина трещин 0,1—0,2 м, поперечник полигонов от 1 до 30 м	Четко видимые узкие темные трещины, ограничивающие неправильные фигуры	Отсутствует, иногда встречается бордюрами по трещинам
Трещиновато-валиково-полигональный	Более широкие трещины, чем в предыдущем типе. Валики и термокарстовые углубления в центрах полигонов, * которые превращаются в озера. Ширина трещин до 2 м; местами трещины превращаются в каналы с водой. Ширина валиков до 2 м, высота 0,5—0,7 м. Поперечник озерков 5—10 м, глубина до 1 м	В дополнение к вышеописанным признакам центры фигур всегда очень темного тона	На валиках зеленые мхи и лишайники. На склонах валиков сфагновые мхи. По краям озерков осока и пушица, иногда гипновые мхи
Пятнисто-бордюрный	Округлые повышения, окруженные невысокими бордюрами. В центре повышения голые пятна. Поперечник повышения до 5 м, поперечник пятна 0,5—1,0 м. Ширина бордюра 0,2—0,3 м, высота 0,1—0,2 м	Слабо заметные мелкие средне-серые пятна	На валиках мхи, лишайники и кустарнички. На склонах валиков мхи и разнотравье
Струйчатый солифлюкционный	Малозаметные вытянутые по склону увлажненные ложбинки, разделенные более сухими промежутками	Четко видимый характерный струйчатый рисунок	На грядках лишайники или кустарнички. Между грядками мхи, осока или голые пятна
Грядово-мочажинный	Поверхность болота покрыта узкими, нередко соединяющимися грядками высотой 0,5—0,7 м. На крупных массивах гряды образуют концентрические круги, опоясывая наиболее возвышенную часть массива	Характерный рисунок светлых искривленных полос, пересекающих наиболее возвышенную часть массива	Сфагновые мхи. На грядках к ним присоединяются кустарнички и низкорослая сосна, на мочажинах — осока

сти. Промежутки между буграми (мочажины) имеют четкую пятнистую и зернистую структуру. Пятнистая структура представлена озерково-сфагновым болотом, зернистая — ивовым кустарником.

Определение количественных показателей объектов по корреляционным уравнениям. В практике камерального дешифрирования часто определяют количественные показатели неизобразившихся объектов местности на основании измерений на аэроснимках изобразившихся объектов. Для этого составляют и решают корреляционные уравнения, устанавливающие зависимость между измеренными и неизмеренными показателями. Составляются как линейные, так и нелинейные уравнения, основанные на простой и множественной корреляции.

Рассмотрим наиболее часто встречающийся в практике топографии и лесоустройства способ определения толщины стволов на уровне груди на основе зависимости ее от высоты дерева и диаметра его кроны.

Для камерального определения толщины стволов деревьев измеряют предварительно на пробных площадках диаметры кроны, толщину стволов и высоту деревьев, а затем составляют корреляционные уравнения

$$d = \bar{X}_1 - r_{1/1} \frac{\sigma_1}{\sigma_2} (D - \bar{X}_2), \quad (25)$$

$$d = \bar{X}_1 + r_{1/1} \frac{\sigma_1}{\sigma_2} (H - \bar{X}_2),$$

где d — диаметр ствола на уровне груди, D — диаметр кроны, H — высота дерева, \bar{X}_1 , \bar{X}_2 — среднее значение d и D или d и H , $r_{1/1} \frac{M_{1/1}}{\sigma_1 \sigma_2}$ — коэффициент корреляции.

$$M_{1/1} = m_{1/1} - m_{1/0} m_{0/1}; \quad \sigma_1 = \sqrt{M_{2/0}}; \quad \sigma_2 = \sqrt{M_{0/2}};$$

$$M_{2/0} = m_{2/0} - m_{1/0}^2; \quad M_{0/2} = m_{0/2} - m_{0/1}^2;$$

$$m_{1/0} = \frac{\Sigma X_1}{n}; \quad m_{0/1} = \frac{\Sigma X_2}{n}; \quad m_{2/0} = \frac{\Sigma X_1^2}{n}; \quad m_{0/2} = \frac{\Sigma X_2^2}{n},$$

где n — число наблюдений (6).

Подставляя в уравнение (25) вычисленные значения входящих в них величин, получим уравнения вида

$$d = a_1 D + b_1; \quad (26)$$

$$d = a_2 H + b_2,$$

где a и b с индексами — коэффициенты, вычисленные по измерениям на пробных площадках.

Составив уравнения (26) для определенного района путем статистической обработки измерений на пробных площадках, можно в камеральных условиях по измеренным D или H определить d .

Приведем коэффициенты корреляции, полученные для значений по D и H в лесах южной Башкирии, как иллюстрацию тесноты связи между параметрами корреляционных уравнений (табл. 11).

Таблица 11

Породы леса	$d=f(D)$	$d=f(H)$
Сосна	0,94—0,88	0,85—0,66
Лиственница	0,59	0,60
Осина	0,70—0,90	0,72—0,95
Береза	0,92—0,66	0,84—0,61
Дуб	0,73—0,96	0,49—0,73

Как видно из табл. 11, коэффициенты корреляции показывают большую тесноту связи между исследуемыми показателями. Разное значение коэффициентов корреляции для одних и тех же пород объясняется тем, что измерения производились в разных условиях местообитания (в долинах, на склонах).

ДЕШИФРОВОЧНЫЕ ЭТАЛОНЫ И ДЕШИФРОВОЧНЫЕ ОПРЕДЕЛИТЕЛИ

Дешифровочным или аэрофотографическим эталоном служит типичное фотоизображение того или иного объекта, которое с заданной степенью вероятности характеризует всю совокупность изображений объектов данной категории на аэроснимках при определенных условиях аэрофотосъемки. Путем сопоставления с эталоном с определенной величиной ошибки может производиться дешифрирование однотипных объектов на аналогичных территориях. Сравнение эталона с дешифрируемым объектом производится методом аналогии, а не тождества. Аэрофотографическое эталонирование заключается в выборе и полевой аннотации аэрофотографических эталонов различных объектов ландшафта [11].

Эталоны можно классифицировать по содержанию и принципу выделения. По содержанию различают отраслевые и комплексные эталоны. Отраслевые эталоны содержат характеристику какого-либо одного элемента ландшафта (например, только рельефа и геологического строения). Комплексные эталоны сопровождаются многоотраслевой аннотацией природных условий всего комплекса. По принципу выделения различают систематические и территориальные эталоны. Систематические эталоны характеризуют отдельные объекты, расположенные по

системе, принятой при их классификации в данной отрасли науки. Например, эталоны растительности подбираются в последовательности классификации растительных сообществ, т. е. формации, ассоциации и др. Территориальные эталоны характеризуют комбинации объектов по ландшафтам, урочищам, фациям.

Способ графического оформления эталона зависит от конкретных условий его назначения. Объекты (контуры) местности могут быть вычерчены соответствующими условными знаками или обозначены индексами, характеристика которых дается текстом. Но во всех случаях оформление эталона не должно скрывать фотографического изображения. Если условный знак скрывает фототон, то должен прилагаться чистый аэроснимок — дубликат эталона.

Форма текстовой аннотации эталона может быть различна, но она должна отражать географическую характеристику изображенного объекта, динамику его развития, дешифровочные признаки, рекомендации по применению условных знаков (если эталон используется для картографирования). В легенде эталона дается его привязка, указываются параметры аэрофотосъемки и другие необходимые данные.

К эталону в некоторых случаях прикладывают наземные фотографии типичных объектов, зарисовки профилей элементов рельефа, геоботанические или ландшафтные профили и другие материалы.

В практике применения аэрометодов для различных видов съемки неоднократно делались попытки создать дешифровочные определители, пользуясь которыми можно было бы производить по аэроснимкам камеральное дешифрирование объектов. Эти попытки пока не увенчались достаточным успехом. Создание общего дешифровочного определителя без учета географических особенностей местности и технических условий аэрофотосъемки — задача невыполнимая. Для конкретных географических и технических условий дешифровочные определители могут быть представлены в виде систематизированных аэроснимков-эталонов и в виде таблиц дешифровочных признаков.

Систематизированные эталоны и сводные таблицы дешифровочных признаков применяются организациями, пользующимися материалами аэрофотосъемки. Значительная работа по составлению и систематизации аэроснимков-эталонов проводится в Центральной аэрофотосъемочной фильмотеке Лаборатории аэрометодов МГ СССР. Аннотации эталонов характеризуют внешние элементы ландшафта и их связи с почвенным покровом, геологическими образованиями и другими внутренними элементами ландшафта.

Дешифровочные определители в виде табличных сводок прямых, косвенных и комплексных дешифровочных признаков, выявленных по индикаторам внутреннего строения ландшафта,

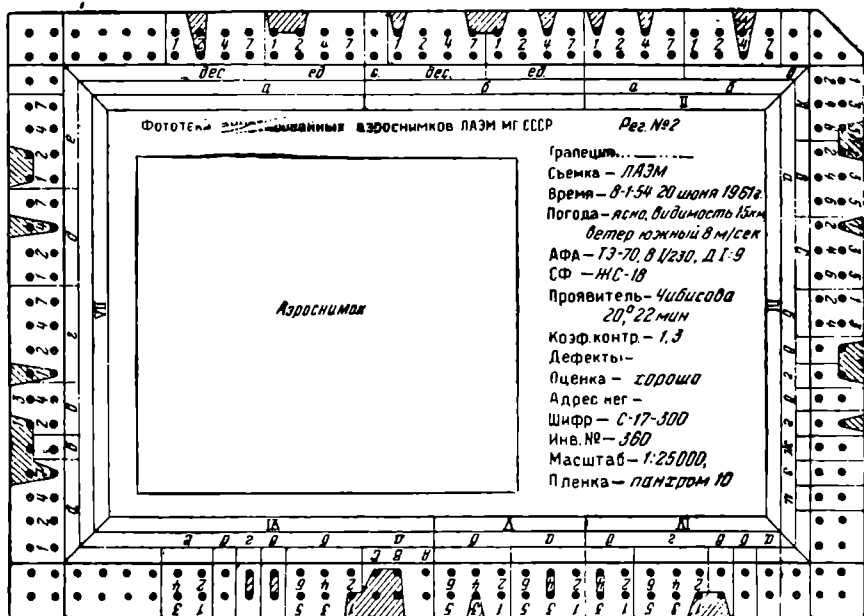


Рис. 17. Образец эталона дешифрирования на перфокарте

применительно к конкретным географическим районам, постоянно публикуются в монографиях и в отдельных статьях, посвященных отраслевому дешифрированию.

Наиболее подробным можно считать дешифровочный определитель, составленный для топографической съемки и обновления карт масштабов 1:10 000 и 1:25 000, в котором даются в виде текста классификация и перечень топографических объектов, особенности их изображения на картах и дешифровочные признаки их [20]. К этому определителю приложен альбом, показывающий вид топографического объекта на обычной фотографии, на аэроснимке и изображение объекта условными знаками на фоне полутонового фотографического изображения [1].

Дешифровочный определитель должен состоять из следующих составных частей [2]:

- 1) аэроснимков — эталонов географического ландшафта;
- 2) сводной таблицы характеристик дешифровочных признаков участка эталона;
- 3) характеристики общих географических особенностей ландшафта.

В последнее время дешифровочные определители стали дополняться оптическими характеристиками аэрофотоизображения (СКЯ, спектральная плотность, регистрограммы результатов микрофотометрирования по избранным направлениям и др.).

При наличии большого количества эталонов целесообразно дешифровочный определитель составить в виде картотеки перфорированных карт. Такая картотека имеет то преимущество, что не нуждается в строгой порядковой расстановке и позволяет применять ЭВМ для анализа эталонов.

Приводим пример перфокарты дешифровочного определителя почв из каталога Лаборатории аэрометодов МГ СССР (рис. 17).

На обратной стороне эталона приводятся следующие сведения: классификация и географическая приуроченность почв, оценка земель, морфологические признаки почв, грунты, грунтовые воды.

ДЕШИФРИРОВАНИЕ АЭРОСНИМКОВ ПРИ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ И ОБНОВЛЕНИИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ *

МЕТОДЫ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ

Топографическое дешифрирование производится путем сочетания камеральных и полевых работ. В зависимости от технологии топографических работ, характера и изученности района применяется несколько вариантов сочетания камерального и полевого дешифрирования: сплошное полевое дешифрирование, избирательное полевое дешифрирование с последующим камеральным, камеральное дешифрирование с последующим избирательным полевым. В дополнение к камеральному и полемому применяется иногда **аэровизуальное дешифрирование**.

Сплошное полевое дешифрирование применяется при комбинированной съемке в разных районах и стереотопографической съемке в районах с большим количеством населенных пунктов и различных сооружений.

При полевом дешифрировании исполнитель обследует подряд все топографические объекты территории, сопоставляя их в натуре с соответствующим аэрофотоизображением, опознает **эти** объекты на аэроснимке, определяет качественные и количественные характеристики их и обозначает упрощенными условными знаками, а при наличии постепенного перехода одних угодий в другие намечает его среднюю линию. Вычерчивать объекты, хорошо видимые на аэроснимках, не обязательно. Если объект был зафиксирован при аэрофотосъемке, а на местности теперь отсутствует, то его аэрофотоизображение перечеркивают. Топографические объекты, не распознающиеся на аэроснимке, наносят промерами, засечками или иными приемами инструментальной съемки. В процессе дешифрирования исполнитель проводит генерализацию аэрофотоизображения, делает дополнительные записи, характеризующие объекты, и составляет абрис мест с наиболее сложной ситуацией.

При комбинированном методе создания карты полевое дешифрирование выполняют на фотоплане одновременно со съемкой рельефа. При стереотопографическом методе оно проводится преимущественно на фотосхемах, как правило, отдельно от работ по плано-высотной подготовке.

* При написании этой главы использована работа [20].

Сплошное полевое дешифрирование должно быть обеспечено комплектом аэроснимков и портативным прибором для стереоскопического их изучения с увеличением. Особенно это важно при распознавании и нанесении гидрографической сети и троп, скрытых под пологом леса, выявлении на аэроснимках проекций малых объектов в тенях зданий и горных склонов, разграничения растительности по приуроченности к рельефу.

Сплошное камеральное дешифрирование применяется при картографировании необжитых труднодоступных высокогорий, болотных массивов, некоторых районов пустынь и тундр. Решающее значение в этом случае имеют аэроснимки с высокой дешифрируемостью, в частности цветные спектрзональные и «натуральные». Для камерального дешифрирования существенно, чтобы картографические данные на территорию съемки были обстоятельно изучены.

При подготовке к камеральному дешифрированию необходимо предусмотреть, чтобы проведение на данной территории полевых геодезических работ сочеталось с дополнительным сбором сведений о местности и фиксацией их на карте или аэроснимках. Кроме того, следует запроектировать разреженные маршруты топографо-географической рекогносцировки (предпочтительно аэровизуальной) с созданием эталонов по наиболее характерным или особо затруднительным для камерального дешифрирования местам.

В процессе камерального дешифрирования в полной мере используются стереофотограмметрические приборы. Для дешифрирования необходимы фотопланы или фотосхемы близкого к создаваемой карте масштаба и наборы аэроснимков. Это позволяет сочетать возможности широкого обзора территории с детальным изучением объектов по стереомодели.

Работы по камеральному дешифрированию рекомендуется проводить в следующем порядке:

1. Изучение редакционных указаний (см. ниже).

2. Общее ознакомление с изображением местности путем просмотра фотосхем и комплекта аэроснимков с применением стереоскопа.

3. Дешифрирование основных отчетливо распознающихся объектов — главной гидрографической сети, крупных контуров растительности и грунтов, линий железных и автомобильных дорог и т. д.

4. Детальная последовательная отработка каждой стереопары аэроснимков, используя при этом эталоны, материалы и стереоприборы. Последовательность дешифрирования по элементам содержания может быть различной и определяется конкретными условиями района картографирования.

Избирательное полевое дешифрирование с последующим камеральным применяется в районах, сравнительно сложных для дешифрирования и одновременно

географически недостаточно изученных и слабо обеспеченных материалами картографического значения. Оно проводится по маршрутам, на станциях наблюдения и на эталонах. Маршрутное дешифрирование осуществляют как наземным путем, так и аэровизуально.

Маршруты дешифрирования, как правило, должны проходить по таким местам, дешифрирование которых в натуре обеспечивает камеральное распознавание контуров на остальной территории, позволяя полностью нанести культурные объекты, получить характеристики, не определяемые на приборах. В частности, эти маршруты необходимы по дорогам, не имеющим специализированных картографических и описательных данных, и по водотокам, замаскированным сплошным лесом или кустарником.

Дешифрирование по маршрутам выполняется в полосе средней шириной 250 м в лесах, от 500 до 1000 м, иногда и более в открытых районах. Результаты дешифрирования рекомендуется отмечать в упрощенных знаках авторучкой, заряженной чернилами определенного цвета. При дешифрировании применяют маршрутные фотосхемы с соответствующими парными аэроснимками или полные комплекты несмонтированных отпечатков в масштабе, близком к масштабу создаваемой карты.

Станции (точки) наблюдения должны занимать площадь от 4 до 10 см² аэроснимка; они выбираются в местах, типичных для данного ландшафта. В пределах каждой станции детально изучают все структуры аэрофотоизображения с целью установить, как они передают топографические объекты, и характер взаимосвязей между ними (особенно для объектов, непосредственно не фиксирующихся на аэроснимках). Результаты дешифрирования закрепляют индексом на аэроснимке и фиксируют в виде записи в журнале или на обороте аэроснимка. Главное внимание в записях должно быть уделено описанию выявленных косвенных дешифровочных признаков. По мере необходимости на станциях наблюдения делают зарисовки и фотографии объектов, составляют профили растительного полога, залесенных оврагов и долин ручьев и т. п.

Эталоны дешифрирования на избранных площадках по редким маршрутам создаются при нецелесообразности или невозможности из-за природных условий прокладывать на территории съемки обычную сеть маршрутов со станциями наблюдений. Под эталонную площадку выбирают участок, покрываемый не менее чем стереопарой аэроснимков.

Приводим образец эталона для топографической съемки малообжитого района (рис. 18) и описание его.

1. Каменисто-лишайниковая тундра расположена на вершинах гор и на верхних частях их склонов выше границы леса. На выступающих остроконечных вершинах и на крутых склонах гор тундра переходит в каменистые россыпи и осыпи. На

аэроснимке изображаются хорошо выделяющимся светло-серым тоном. Отличить каменно-лишайниковую тундру от россыпей и осыпей можно по характеру рельефа при стереоскопическом рассмотрении аэроснимка.

2. Елово-березовый лес покрывает большую часть склонов гор и куполообразные вершины их до высоты 400 м. Преобла-

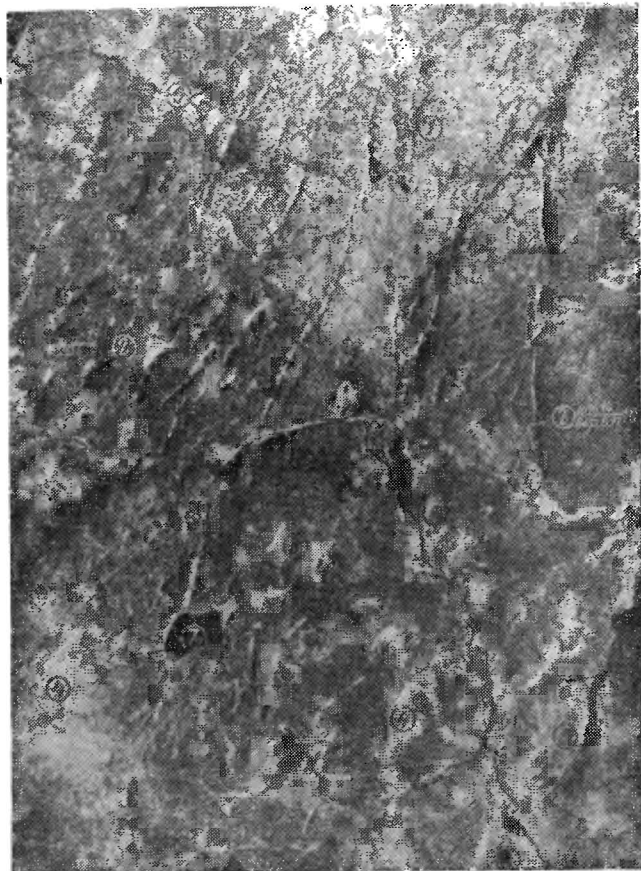


Рис. 18. Образец эталона дешифрирования для топографической съемки

дающая порода — ель. Высота ели 12—16 м, толщина ствола на уровне груди 14—18 см, сомкнутость крон 0,6. Береза образует второй ярус высотой 8—10 м, толщина ствола 5—10 см. Лес загроможден валунами. Поляны заняты моховыми и осоковыми болотами. Лес отчетливо изображается на аэроснимке зернистым рисунком.

3. Карликовое редколесье по лишайниковому покрову — переходная полоса между лесом и горной тундрой. Редколесье состоит из карликовой березы высотой 3—6 м. В наземном покрове преобладают лишайники с примесью кустарничков. Деревья на аэроснимке просматриваются в виде темных точек на светло-сером или сером тоне наземного покрова. Более темный тон покрова характеризует большую примесь кустарничков.

4. Осоковые болота приурочены к дну межгорных долин. Болота проходимые. Растительный покров состоит из осоки с примесью мхов и кустарничков. Среди осоки местами проглядывает вода. Осоковые болота дают ровный тон изображения на аэроснимке, но в связи с неоднородностью растительного покрова и наличием открытой воды фототон изменяется от светлого до темно-серого.

5. Грядово-мочажинные болота занимают наиболее пониженные широкие открытые участки среди гор. Они часто окружают озера. Поверхность этих болот состоит из небольших гряд и бугров с моховой растительностью, разделенных понижениями, занятыми осокой и водой. Болота труднопроходимые, глубиной 1,5 м. На аэроснимках грядово-мочажинные болота дают характерный полосчатый рисунок: светлые полосы — грядки, темные — мочажины.

6. Горные реки — постоянные водотоки, текущие обычно среди зарослей кустарников. Глубина рек до 1 м, скорость течения 2—3 м/с.

7. Озера имеют постоянную береговую черту. Глубина озер 15—20 м, глубина мелких озер 2—3 м. Озера хорошо опознаются на аэроснимке по черному тону.

Камеральное дешифрирование начинают с перенесения на единую основу всех данных полевого дешифрирования по маршрутам, станциям наблюдения и эталонным площадкам. Основой обычно служат фотосхемы в рамках трапеций, но предпочтительнее выполнять камеральное дешифрирование сразу на фотопланах, если они имеются.

После переноса результатов полевого дешифрирования, руководствуясь редакционными указаниями и эталонами, используя дешифровочные признаки, привлекая вновь выявленные материалы картографического значения и дополнительные сведения, выполняют при помощи приборов камеральное дешифрирование для всей остальной территории. В ряде случаев целесообразно камеральное дешифрирование проводить прямо в процессе составления графического оригинала карты на приборе, т. е. минуя вычерчивание на фотосхеме.

Камеральное дешифрирование с последующей полевой доработкой является основным методом. В этом случае производится обследование местности по отдельным маршрутам для доработки дешифрирования

в районах, достаточно изученных и, в частности, имеющих надлежащие материалы картографического значения.

Камеральное дешифрирование выполняется на фотосхемах или фотопланах с использованием соответствующих материалов и приборов и вычерчиванием в условных знаках всех уверенно распознаваемых топографических объектов. Вычерчивание целесообразно и для не полностью дешифрирующихся объектов с выделением их контуров и оставлением более детального обозначения до полевых работ (например, для некоторых угодий, зданий, линий проволочных передач и т. д.). Одновременно с камеральным дешифрированием выявляют и отмечают на кальке участки, требующие обследования в натуре. Исходя из этого, далее составляют проект маршрутов полевого дешифрирования с расчетом привлечения к нему и геодезистов, ведущих привязку аэроснимков. Полевую доработку дешифрирования производят в обычном порядке.

Аэровизуальное дешифрирование. Основное преимущество аэровизуального дешифрирования, производимого частью в дополнение, а частью взамен наземного, заключается в том, что оно позволяет ускорить и облегчить полевые работы, увеличить их возможности за счет обследования недоступных с земли участков, расширить проверку материалов камерального дешифрирования непосредственно в натуре. Аэровизуальное дешифрирование может проводиться после основного камерального в порядке полевой доработки материалов или до него, но в этом случае должно быть поставлено предварительное камеральное дешифрирование.

При аэровизуальном дешифрировании имеется возможность изучать объекты не только в их плановом изображении, но в любом ракурсе и наиболее выгодном масштабе. Особое значение это приобретает при дешифрировании деталей рельефа под лесом.

Аэровизуальное дешифрирование производится с самолетов, имеющих небольшие скорости, и с вертолетов. Наблюдения с воздуха сочетаются с детальным осмотром объектов на виражах, при зависании (для вертолетов), путем снижения и посадок в избранных местах. В ряде районов целесообразно комбинировать аэровизуальное и наземное маршрутное дешифрирование. При установлении режима наблюдений с воздуха необходимо учитывать технические данные летательных аппаратов и требования по их эксплуатации, которые приводятся в специальных инструкциях.

Высота и скорость полета при наилучших условиях наблюдения, т. е. плавстречу и сбоку, определяется психофизиологическими возможностями восприятия и фиксации распознаваемых объектов. При ориентировке на малые топографические объекты высота полета должна быть 300 м. Скорость полета для этой высоты получится при оптимальных условиях работы 36 км/ч

при напряженных — 72 км/ч и при особо напряженных — 108 км/ч. На практике скорость полета зависит от технических возможностей летательных аппаратов. Она, как правило, выше скорости, необходимой для оптимальных условий работы.

При подготовке к аэровизуальному дешифрированию изучают все материалы на территорию съемки, результаты ее камерального дешифрирования и проектируют маршруты и пункты, требующие детальных наблюдений с воздуха. Далее наносят трассы маршрутов, опорные и контрольные ориентиры на рабочие фотосхемы или комплекты аэроснимков, а в ряде случаев и на карту масштаба 1 : 100 000, необходимую для «обзорности» в полете.

При наблюдениях в полете основная задача заключается в изучении камерально недешифрирующихся мест и выявлении отсутствующих на аэроснимках топографических объектов. Выполняется это в последовательности: обнаружение объекта на подходе, распознавание и определение характеристик в створе и фиксация сразу после пролета. В зависимости от обстоятельств последняя операция осуществляется по-разному: наколом ча аэрснимке с пометкой, перечеркиванием изображения исчезнувшего или неверно отдешифрированного объекта, нанесением объекта по смежным контурам, по времени пролета от ориентиров и с использованием особой визирной палетки, записью в журнале или при помощи магнитофона, фотографированием с борта (рис. 19).

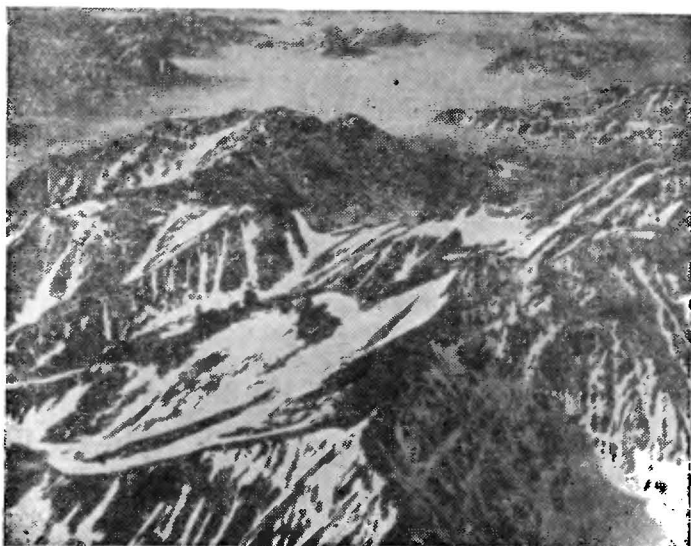


Рис 19. Пример бортового снимка при аэровизуальном дешифрировании

При затруднении детальных наблюдений и для получения данных лишь путем наземного обследования (качество воды в источниках, глубина болот и т. п.), а также для создания эталонов дешифрирования производят посадку летательного аппарата.

Немедленно после окончания аэровизуальных наблюдений, т. е. по свежей памяти, расшифровываются и дополняются пометки на аэроснимках, записи на магнитофоне и в журнале. Далее обрабатываются фотографии, зарисовки и другие данные.

ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Приборы, применяемые для дешифрирования, разделяются на увеличительные, измерительные, стереоскопические и комбинированные. Кроме того, при полевом дешифрировании используются приборы для натуральных измерений.

Из увеличительных приборов используют главным образом монокулярные лупы с увеличением от 2 до 10 раз.

К чисто измерительным приборам относятся синусные линейки, параллактические пластины и параллаксометры, применяемые для элементарных измерений по отпечаткам аэроснимков.

Из стереоскопических приборов, являющихся по существу комбинированными, используют стереоскопы для камерального и полевого дешифрирования, иногда соединенные с измерительным устройством, интерпретоскопы, стереометры и универсальные стереофотограмметрические приборы.

Для натуральных измерений используются высотомер, дальномер и гидрометрическая вертушка.

Характеристика приборов и методы работы на них рассматриваются в курсах фотограмметрии. Описание приборов, применяемых при дешифрировании, дано в работах [4, 20, 44]. Ограничимся замечаниями по особенностям дешифрирования на стационарных приборах: на универсальных и интерпретоскопе.

Дешифрирование на универсальных приборах характеризуется следующими положительными особенностями: 1) оно обеспечено хорошими условиями для стереоскопических наблюдений и для измерений объектов по аэроснимкам; 2) результаты дешифрирования фиксируются непосредственно на оригинале карты, что в известной мере определяет требуемую детализацию нагрузки и позволяет отказаться от вычерчивания ситуации на промежуточных аэрофотосъемочных материалах; 3) процесс дешифрирования совмещен с рисовкой рельефа, с чем связаны некоторые преимущества в отработке содержания карты.

Вместе с тем использование универсальных приборов ослож-

няет работу в силу того, что они не имеют необходимых для камерального дешифрирования широкой обзорности стереомодели и возможности все время следить за результатами дешифрирования по ходу процесса.

Последовательность дешифрирования определяется рядом соображений. В одних случаях целесообразно отработать тот или иной элемент нагрузки сразу в пределах полезной площади. В других случаях — дешифрировать один за другим все ее участки. Контуры иллюминируют позже при составительском вычерчивании оригинала карты. Наносить на него те объекты, которые не изобразились при аэрофотосъемке, можно как при дешифрировании, так и инструментальными приемами прямо на основу графического оригинала.

При дешифрировании на универсальном приборе рекомендуется на каждой стереопаре вначале обрабатывать гидрографию и контуры, а затем рисовать рельеф. Такая последовательность в случае сложной ситуации дает возможность обнаруживать пропуски в дешифрировании. Исключение составляют горные районы с большой амплитудой превышений, где рельеф определяет ландшафтные особенности территории и поэтому должен быть зарисован в первую очередь. В процессе дешифрирования протяженные линейные объекты целесообразно обрабатывать сразу по всей стереопаре, а мелкие и сложные — по отдельным частям стереопары.

Для экономии времени на участках с небольшим количеством разных по содержанию крупных контуров результаты камерального дешифрирования следует фиксировать не условными знаками, а индексами (цифрами, буквами) с расчетом замены их на установленные обозначения при вычерчивании.

При камеральном дешифрировании высоких местных предметов и высоких зданий для правильного нанесения их оснований должны использоваться не только центральные, но и крайние части смежных аэроснимков. Кроме того, при составлении планов масштаба 1 : 2000 — 1 : 500 надлежит учитывать разномасштабность аэрофотоизображения оснований и крыш высоких зданий, а также размеры свесов крыш и карнизов, если величина их на плане более 0,1 мм. Когда на аэроснимке основание здания видно с какой-либо его стороны, измерения свесов выполняются при помощи универсальных приборов. Для тех же целей следует привлекать материалы технической инвентаризации зданий, включая данные их натурного обмера. Измерения величин карнизов и свесов крыш выполняются как стереоскопически, так и монокулярно (по перспективным изображениям построек и их теням). На приборе наносят на план только углы построек, а стороны проводят по линейке. Точно таким же путем, сочетанием стереоизмерений с монокулярным, наносят на план границы тротуаров, арки, наружные лестницы и т. п. При монокулярных измерениях обязательна предварительная

установка каретки прибора на высоту, соответствующую основанию паносимого объекта.

В процессе работы на приборе ведется фиксация объектов, вызывающих сомнение как в отношении конфигурации, так и характеристик, а также объектов, указанных в ведомственных материалах, но не опознанных на аэроснимках. По этим данным составляют задание на полевую доработку результатов камерального дешифрирования.

Перенесение отдешифрированной ситуации с полевых материалов на оригинал карты при помощи универсальных приборов часто осложняется тем, что аэроснимки, на которых выполнено дешифрирование, как правило, получены при более ранней аэрофотосъемке и в существенно более крупном масштабе, чем аэроснимки, используемые при рисовке рельефа и составительских работах на приборах. Кроме того, отождествлению нередко подлежат контуры на таких аэроснимках, которые преднамеренно выполнены в разные сезоны, а следовательно, при значительных различиях в облике ландшафтов.

Наибольшие трудности возникают при перенесении угоний с нечеткими изменчивыми очертаниями и малых водотоков, закрытых сплошным лесом или кустарниками. При этом из аэроснимков, отдешифрированных в натуре, и из аэроснимков, отдешифрированных камерально, которые отражают разные аспекты местности, должна быть извлечена максимальная суммарная информация о данных объектах.

Перенесение результатов дешифрирования при работе на универсальных приборах носит двухступенчатый характер и осуществляется различными способами. Например, отдешифрированные в поле аэроснимки уменьшают до масштаба аэроснимков, обрабатываемых на приборе. Затем нечеткие контуры переносят на просвет под стереоскопом на диапозитивы, применяемые при составлении оригинала. Четкие же контуры распознают непосредственно на приборах, привлекая соответствующие материалы дешифрирования в натуре. Переносить содержание с отдешифрированного аэроснимка на диапозитив можно также при оптическом их приведении к одному масштабу при помощи луп. Применяется и такой прием, как перенесение части контурной нагрузки или всей (при простом ландшафте) с аэроснимков прямо на оригинал с использованием стереоскопа-пантографа, оптического проектора, а иногда и пропорционального циркуля. В некоторых случаях в качестве основы оригинала используют синюю светокопию с фотоплана, смонтированного из крупномасштабных аэроснимков того же залета, по которому проводилось дешифрирование.

Изображение топографических объектов на аэроснимках характеризуется большим разнообразием по контрастности и размерам. В силу этого прибор, предназначенный для их камерального дешифрирования, должен иметь большой и легко

изменяемый диапазон яркостей и увеличений при отличных условиях наблюдения. Интерпретоскоп отвечает этому в большей степени, чем любой другой стереофотограмметрический прибор. Интерпретоскоп дает возможность стереоскопически дешифрировать аэроснимки разных масштабов на отражение и на прорвет, с двойным увеличением при общем обзоре стереомодели и многократном — при детальном изучении отдельных ее участков. Измерения превышений объектов выполнимы на интерпретоскопе с требуемой при дешифрировании точностью.

В зависимости от местности, масштаба и изобразительных свойств аэроснимков, а также организационных соображений дешифрирование на интерпретоскопе можно производить полностью для всей территории съемки или для отдельных ее частей, являющихся типичными по характеру ландшафтов или имеющих много малых топографических объектов. Дешифрирование на интерпретоскопе нередко целесообразно выполнять прямо на фотоплане. В этом случае каждый его участок и соответствующий парный аэроснимок зрительно приводят к одному масштабу (используя самостоятельность оптических ветвей прибора) и рассматривают полученную стереомодель с избранным увеличением.

При перенесении отдешифрированной ситуации с аэроснимков на основу оригинала карты, составляемой на универсальном приборе, использование интерпретоскопа позволяет усовершенствовать эту работу. Дело в том, что на нем можно стереоскопически наблюдать пары аэроснимков не только разномасштабных, но и отпечатанных один на фотобумаге, другой — на стекле в виде диапозитива. Яркость освещения можно регулировать для каждого аэроснимка стереопары отдельно, для мелкомасштабного изображения местности важно, что использован прозрачный фотоматериал. В силу этого при производстве работ имеется реальная возможность воссоздания стереомодели по левому аэроснимку на фотобумаге, увеличенному в пять раз, и правому диапозитивному аэроснимку, увеличенному в десять раз.

ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ПО АЭРОСНИМКАМ ПРИ ИХ ДЕШИФРИРОВАНИИ

В процессе топографического дешифрирования по аэроснимкам могут быть определены следующие количественные характеристики объектов: 1) ширина рек, канав, оврагов, промоин, дорог, просек, мостов и др.; 2) длина мостов, бродов и др.; 3) высота курганов, насыпей, обрывов, валов, скал-останцов, заводских труб, опор линий электропередач, мостов, лесов, кустарников и др.; 4) глубина рек, выемок, ям, оврагов, промоин и др.; 5) толщина деревьев; 6) скорость течения рек.

Часть этих характеристик определяют в натуре или получа-

ют из картографических материалов, но большинство их определяют непосредственными измерениями по аэроснимкам.

При измерении длины и ширины объектов необходимо вводить поправку за полосу размытости. При работе с аэроснимками, имеющими углы наклона не более 3° , действительные размеры объектов вычисляются по формуле

$$L = (l + \delta l) \frac{H}{f}, \quad (27)$$

где L — длина или ширина объектов в натуре, м; l — соответствующий размер их на аэроснимке, мм; δl — поправка за размытость изображения, мм; H — высота фотографирования, м; f — фокусное расстояние АФА, мм. Поправки за размытость, определенные экспериментально, находятся в пределах десятых долей мм. Таблица поправок для различных топографических объектов приведена в [20].

При измерениях на нетрансформированных аэроснимках приходится учитывать ошибки за углы наклона их и за измененные высоты фотографирования. Эти ошибки определяются из формулы

$$\Delta L = \frac{H\alpha}{60f} l (2r + l), \quad (28)$$

где ΔL — ошибка в длине (ширине) объекта, м; α — угол наклона аэроснимка, градусы; r — расстояние от главной точки аэроснимка до изображения объекта, мм.

Для измерения величины топографических объектов с точностью ± 1 м ошибка определения высоты фотографирования не должна превышать $H : 2L$. Если же превышения на данном участке значительны, то из высоты фотографирования вычитают отметку объекта, взятую с имеющейся карты.

Можно вместо учета вышерассматриваемых ошибок определить радиус рабочей площади аэроснимка, в пределах которой величина ошибок будет меньше требуемой точности измерений. Этот радиус определяется по формуле [44]

$$r = \frac{1}{A} \sqrt{-h^2 + \sqrt{h^4 + 2(Af\Delta L)^2}}, \quad (29)$$

где $A = \frac{m\alpha}{100}$, m — знаменатель численного масштаба аэрофотографирования, h — среднее превышение местности в пределах полезной площади аэроснимка, м; ΔL — заданная допустимая ошибка измерений расстояний на местности, м.

Относительная средняя квадратическая ошибка измерения длины отрезка на аэроснимке, вызываемая влиянием углов наклона аэроснимка, углом наклона местности и колебаниями высоты полета, может быть подсчитана по формуле [44]

$$\left(\frac{\Delta l}{l}\right)_{\text{ср}} = \pm \frac{1}{f} \sqrt{0,4 r_{\text{ср}}^2 (\alpha^2 + i^2) + \Delta H^2 \frac{1}{m^2}}, \quad (30)$$

где Δl — ошибка измерения длины отрезка, мм; $r_{\text{ср}} = \frac{r_1 + r_2}{2}$ — радиус-векторы, проведенные из главной точки аэроснимка к концам отрезка, мм; i — угол наклона местности; ΔH — колебания высоты полета, м.

Высоты (глубины) объектов определяются путем измерения параллактических смещений Δp , равных разности отсчетов по параллактическому винту прибора при паведении марки на верх объекта и на уровень земли у его основания, и вычисляются по известной формуле фотограмметрии

$$h = \frac{H}{b} \Delta p, \quad (31)$$

где b — базис фотографирования в масштабе аэроснимка в измеряемой точке, мм.

Можно определить относительную высоту объекта по длине изображений падающей тени, но при топографическом дешифрировании в этом нет необходимости.

Для камерального определения глубин рек разработаны три способа — стереофотограмметрический, фотометрический и косвенных расчетов, но они применяются пока ограниченно только при гидрологическом дешифрировании.

Разработан способ определения скорости течения, основанный на забрасывании поплавков в реки с самолета, и фиксирования их положения на двух аэроснимках, полученных через определенные интервалы времени. Рекомендуется использовать номограммы, связывающие скорости течения рек с известными величинами их глубин и падения уровня воды на километр длины.

Точность измерения превышений зависит от ошибок измерения входящих в формулу (31) величин и от ошибок, вызванных искажениями планового аэроснимка. Представление о величине ошибки определения превышений можно получить из табл. 12.

Таблица 12

Ошибки превышений в долях H при разных фокусных расстояниях и расстояниях между точками Δx для равнинной местности

Δx , мм	f , мм		
	70	100	200
5	1:350	1:450	1:600
10	1:150	1:200	1:300
20	1:70	1:90	1:150

ДЕШИФРИРОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Дать более или менее исчерпывающее представление о дешифрировании топографических объектов в кратком пособии не представляется возможным. Чтобы стать полноценным специалистом в области топографического дешифрирования, необходимо иметь специальную подготовку и большой опыт по топографической съемке в различных географических условиях. Проблема топографического дешифрирования связана с вопросами картографического изображения, картографической генерализации, изображения комплексных и расплывчатых контуров, требует знания дешифровочных признаков, конструктивных особенностей гражданских, промышленных, транспортных и гидротехнических сооружений и т. д.

Для более основательного изучения топографического дешифрирования можно использовать работу [20]. Рассмотрим общие принципиальные вопросы дешифрирования элементов природного ландшафта и в меньшей степени дешифрирования населенных пунктов и дорог.

Дешифрирование гидрографии. Распознавание на аэроснимках водоемов и водотоков, как правило, не вызывает затруднений, так как береговые линии их в большинстве случаев имеют достаточно четкие очертания, а аэрофотографическое изображение водной поверхности обычно хорошо отличается от окружающих участков суши на аэроснимках любых масштабов, применяемых на производстве (рис. 20 а, б, 21 а, б).

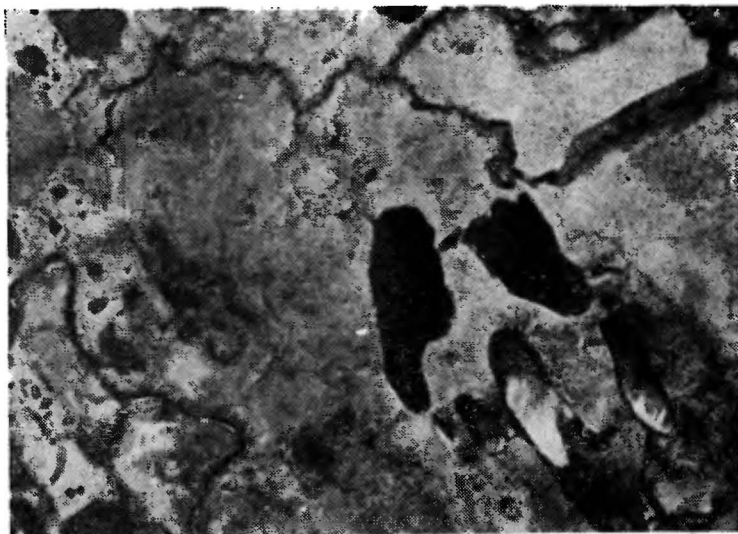
На тон фотоизображения гидрографии влияют оптические условия аэрофотосъемки, глубина, цвет дна, чистота и прозрачность воды, окраска ее, волнение, наличие водной растительности. Обычно с увеличением глубины, а также при илестом, глинистом или торфянистом грунте дна тон изображения более темный. Мелкие рски и озера с песчаным или каменистым дном имеют преимущественно светлый тон на аэроснимке. Мутная и вспененная вода также придает более светлый тон изображению. В результате очень неглубокие и бурные горные реки, текущие по каменистым ломам, на аэроснимках порой почти неотличимы от окружающих их берегов, покрытых галечником.

Трудно дешифрировать и небольшие реки и ручьи, скрытые под пологом леса и кустарника. Отдешифрировать их удастся только в результате тщательного стереоскопического просмотра аэроснимков. Некоторую помощь при этом оказывают и изменения фоторисунка крон деревьев вдоль русла (см. рис. 21).

Пересыхающие объекты гидрографии характеризуются несколькими полосами различного тона, соответствующих ряду уровней высыхания. Нижняя из них — нередко самая темная — отражает наиболее увлажненный участок ложа водоема.

Дешифрирование рельефа. Объектами топографического дешифрирования рельефа являются главным образом формы, имеющие резкие перегибы, обнаженные, незадернован-

а



б

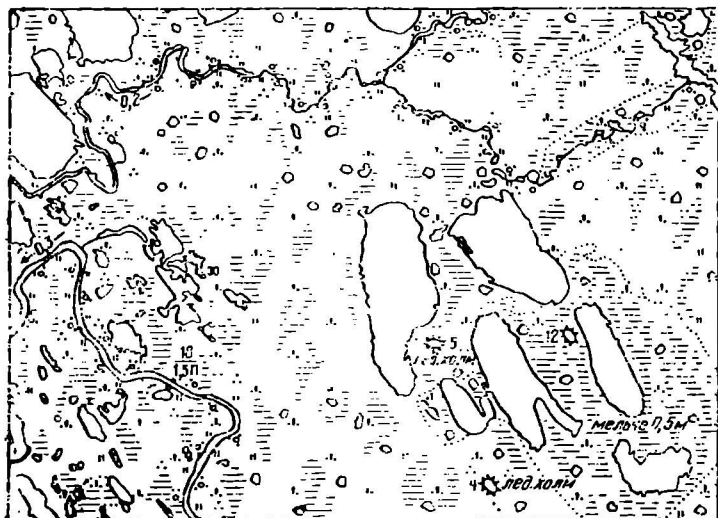


Рис. 20. Образец топографического дешифрирования тундрового ландшафта

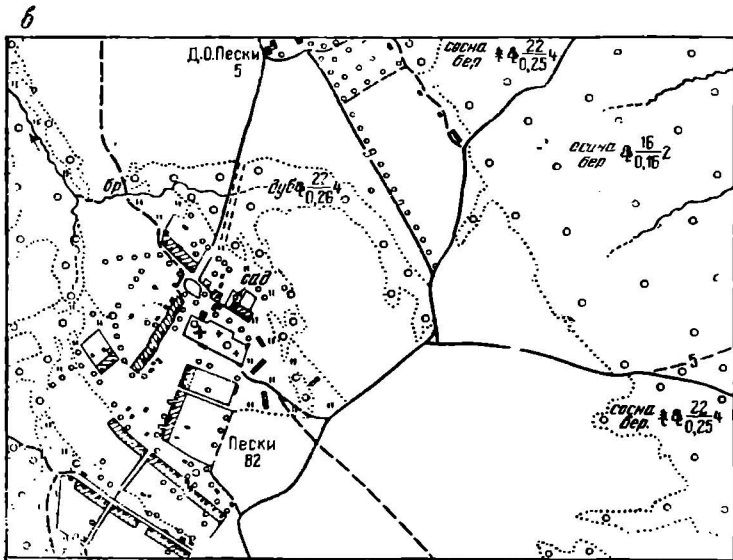


Рис. 21. Образец топографического дешифрирования обжитого лесостепного ландшафта

а



б

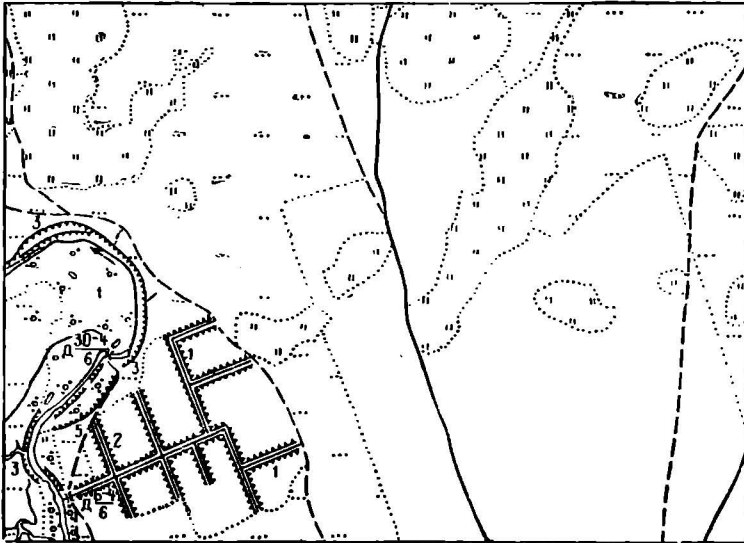


Рис. 22. Образец топографического дешифрирования степного ландшафта

ные склоны, а также часть хотя и задернованных, но небольших форм, показать которые горизонталями не удастся или нецелесообразно: обрывы, оползни, осыпи, скалы, горные ледники, овраги.

Обрывы легко дешифрируются при стереоскопическом просмотре аэроснимков. Бросаются в глаза резкость очертаний, крутизна скатов и различия в фототонах с окружающими более «мягкими» задернованными склонами. Освещенные солнцем обрывы чаще всего выглядят светлыми четко обрисованными полосками (рис. 22 а, б).

Оползни читаются на аэроснимках в виде ряда волнистых бугров, разделенных продольными извилистыми более темными впадинами. В верхних частях действующих оползней заметна светлая полоска обрывистой стенки, а у подошв пятна темного тона характеризуют избыточно увлажненные участки.

Осыпи чаще всего характеризуются светлыми топами, меньшей резкостью очертаний и крутизной, чем скалы. При стереоскопическом просматривании хорошо заметны крутые обрывистые или скалистые участки, к которым прислонены почти полукруглые в нижних частях шлейфы из обломков. Структура фоторисунка осыпей гладкая и лишь у крупнообломочных осыпей заметна некоторая «кряпчатость».

Скалы опознаются на аэроснимках достаточно уверенно по резкости и «зазубренности» их очертаний, характерной изрезанной форме, чередованию освещенных и затененных участков различной тональности. При стереоскопическом просмотре бросаются в глаза сильная пересеченность поверхности, «разбитость» ее, большая крутизна скалистых склонов, гребней, пиков и карнизов (рис. 23 а, б).

Горные ледники обычно состоят из двух частей: фирнового поля и ледникового языка. Хорошо читающиеся на аэроснимке ярко-белые фирновые поля имеют округлую или лопастную форму и чаще всего залегают в котловинообразных понижениях (карах). При дешифрировании ледниковых языков возникают трудности, так как они часто оказываются замаскированными мореной или снежниками. В таких случаях используют косвенные признаки при дешифрировании ледникового языка: его профиль, выпуклость которого обнаруживается при стереоскопическом просмотре, наличие следов трещин, темный тон моренных отложений, краевые ложбины с боков и др.

Хорошо читаются на аэроснимке ледниковые трещины в виде очень темных, обычно слегка искривленных коротких линий, число которых возрастает в местах резких перегибов или уступов на ложе ледника (см. рис. 23). Овраги и промоины распознаются на аэроснимках без затруднений по резким очертаниям, крутизне склонов и различию в фототонах с задернованными балками, характеризующимися к тому же большей мягкостью и плавностью контуров. Узкие овраги и промоины, замаскиро-

а



б

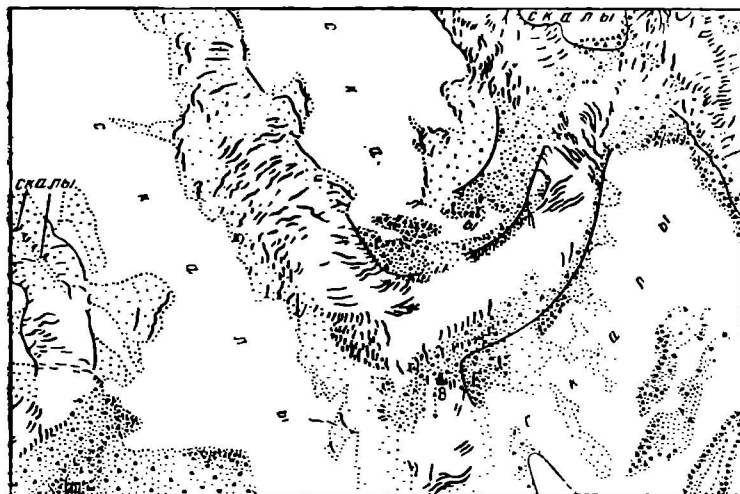


Рис. 23. Образец топографического дешифрирования высокогорного ландшафта

ванные деревьями и кустарниками, видны на аэроснимках значительно хуже.

Дешифрирование растительности. В изображениях на аэроснимках древостоев бросается в глаза неправильная «зернистость», создаваемая чередованием округлых пятнышек — проекций крон деревьев и различных по очертаниям промежутков между ними, частично или полностью занятых темными по тону тенями, отбрасываемыми деревьями (см. рис. 21). При стереоскопическом просмотре высота деревьев воспринимается достаточно отчетливо. Величина и форма «зерен» аэрофотоизображения лесов зависят от размеров и строения крон деревьев на местности, а также от густоты леса. Поэтому различия в формах и размерах крон деревьев, а также в очертаниях их теней на аэроснимках масштабов 1 : 5000—1 : 15 000 являются наиболее существенными признаками для определения состава насаждения. Кроме рисунка, помогает учет тональности аэрофотоизображения. Как правило, леса из ели, пихты и сосны характеризуются более темными тонами, чем лиственные и лиственничные. Больше возможностей для распознавания состава насаждений дают спектральнозные аэроснимки.

Особенности аэрофотоизображения лесов с различным составом насаждений рассматриваются в специальной литературе.

Сплошные заросли кустарников характеризуются на аэроснимках мелкозернистостью (в масштабе крупнее 1 : 25 000), иногда несколько «смазанной» структурой фоторисунка, серым или темно-серым тоном, небольшими падающими тенями и обычно округлой либо фестончатой формой контуров (см. рис. 22). От поросли леса заросли кустарников отличаются более ровным тоном, обусловленным однородностью состава.

Характерная черта полукустарниковой растительности — ее разреженность, повсеместно между отдельными особями видна земля, летом обычно покрытая сетью трещинок. Поэтому тон аэрофотоизображения полукустарников зависит от спектральной характеристики почвы.

Подавляющее большинство полукустарников, а также травянистых и моховых видов не создает специфического фоторисунка и не имеет прямых дешифровочных признаков. Основная черта растительного покрова и почв полупустынь — их пестрота и комплектность, тесная связь с микрорельефом. Хотя большинство полукустарников и трав не создает фоторисунка, по мозаичное размещение их в комплексах нередко придает аэрофотоизображению характерную пятнистость, причем каждому типу комплексов присущи особенности рисунка. Например, комплекс из белой и черной полыни в сочетании со злаками на аэроснимках дает крапчатый рисунок из мелких серых и темно-серых пятен на более светлом фоне.

Ровный и однородный тон луговой растительности, в зависимости от условий освещения при аэрофотосъемке и степени

увлажнения, может изменяться от светлого до темно-серого. Переходы тонов относительно плавные, а очертания лугов обычно четкие.

Степная растительность на аэроснимках часто выглядит так же, как и луговая. Поэтому при разграничении степной растительности от луговой широко используются косвенные признаки.

Моховая растительность на аэроснимках изображается плотным серым тоном различных оттенков и почти не отличается от изображения лугов. Поэтому мох от луга разграничивают также по косвенным признакам (см. рис. 20).

Кормовые лишайники (ягель и др.) имеют на аэроснимках очень светлый тон и достаточно резкие границы. За счет округлости отдельных куртин лишайников структура аэрофотоизображения их иногда мелкопористая, иногда гладкая.

Дешифрирование грунтов. Пески по формам рельефа подразделяются на ровные, бугристые, грядовые, барханные и другие.

Ровные пески характеризуются на аэроснимках ровным очень светлым тоном. По мере зарастания пески приобретают более темный тон.

Бугристые пески обычно закреплены растительностью. Они выделяются на аэроснимках мозаичным «кrapчатым» рисунком с преобладанием серых тонов и более светлыми пятнами по небольшим участкам развевания.

Грядовые пески также закреплены растительностью. На аэроснимке хорошо заметны чередующиеся освещенные солнцем и затененные склоны. Тон гребней несколько светлее.

Барханные пески, состоящие из незакрепленных растительностью холмов серповидной или полулунной формы, хорошо прослеживаются на аэроснимках, и их дешифрирование по прямым признакам относительно несложно.

Каменистые поверхности на аэроснимках в большинстве случаев выделяются довольно отчетливо по тональному контрасту. Тон же их может быть различным. Чаще он светлый, но зависит от цвета горных пород, наличия растительности, затененности склонов и других факторов. Каменистые россыпи, глинистые и щебеночные поверхности не имеют ярко выраженных прямых дешифровочных признаков, и их изображение напоминает изображение каменистой поверхности.

Болота различных типов выглядят на аэроснимках по-разному, но большинству из них присущи неправильная форма в плане и плавные округлые очертания. Зернистая структура аэрофотоизображения указывает на облесенность болота. При отсутствии же деревьев рисунок получается гладким и плотным, различной тональности, которая зависит от характера растительности и степени увлажнения болот.

Некоторые типы болот (грядово-мочажинные, полигональные, бугристые) образуют характерную тональную структуру

фотоизображения. Грядово-мочажинные болота четко выделяются на аэроснимках характерным извилисто-полосчатым рисунком. Гряды, несколько приподнятые над разделяющими их мочажинами, нередко порастают угнетенным лесом. Полигональные болота хорошо выделяются на аэроснимках характерным рисунком сети многоугольников. Темный, местами почти черный тон полигонов связан с избыточным увлажнением их поверхности и с наличием ряда мелких озер. В то же время разделяющие полигоны валики более сухие и на аэроснимках они гораздо светлее (см. рис. 20). Бугристые болота выделяются на аэроснимках мозаичным рисунком, в котором пятнышки светлого тона (бугры) разделяются темными криволинейными полосами (мочажинами).

Солончаки, лишенные растительности, характеризуются на аэроснимках обычно очень светлым тоном, местами с серыми размытыми пятнами. У окраин солончаков иногда наблюдаются кольцеобразные изменения тональности, как бы повторяющие очертания солончака, которые связаны с постепенностью его высыхания. Светлый тон аэрофотоизображения солончаков обусловлен коркой солей, образующихся на их поверхности в сухое время года. В сырой период поверхность солончаков темно-серая, а иногда почти черная, так как соли легко переходят в раствор.

Такыры, как и солончаки, характеризуются разным и изменчивым, в зависимости от сезона года, тоном — от белого до темно-серого. На летних снимках чаще встречается ровный светлосерый тон.

Дешифрирование населенных пунктов. Распознавание на аэроснимках масштаба 1 : 10 000 — 1 : 25 000 населенных пунктов обычно не вызывает затруднений. Здания четко обособляются среди других объектов более или менее правильным расположением и своей характерной формой (резкость очертаний, вертикальность стен, тени, нередко передающие особенности построек, и др.). Однако для уверенного определения материала, из которого сооружены здания, выявления предприятий, для сбора сведений о других характеристиках населенных пунктов, как правило, необходимы натурные обследования. Поэтому населенные пункты преимущественно дешифрируют полевым методом.

В процессе дешифрирования населенного пункта топограф обходит улицу за улицей и, сличая аэрофотоизображение с натурой, прямо на аэроснимок наносит упрощенные обозначения ситуации и сопровождает их краткими пояснительными надписями. На практике применяются разные способы оформления результатов дешифрирования. Например, при использовании фотопланов непосредственно на аэрофотоизображении населенного пункта карандашом наносят все условные знаки. Для сильно загруженных участков делают выноски на поля ориги-

нала. При любом способе оформления дешифрирования целесообразно попутно вести абрисные зарисовки в журнале.

Важнейшими требованиями при топографическом дешифрировании населенных пунктов являются:

— наглядное отображение характера планировки и плотности застройки в разных частях;

— четкое вычерчивание знаков улиц с тщательным выделением главных улиц;

— точный показ зданий и сооружений, являющихся ориентирами;

— подробное отображение подходов к населенным пунктам, их внешних очертаний, естественных рубежей и зеленых насаждений.

Структура населенных пунктов обычно хорошо прослеживается на аэроснимках даже мелких масштабов. В зависимости от структуры при топографическом дешифрировании выделяют: квартальную планировку и застройку городского типа; квартальную и полуквартальную или рядовую планировку и застройку дачного и сельского типа; бессистемную и рассредоточенную застройку. Каждой из них свойственны типичные особенности, хорошо выявляемые на аэроснимках.

Дешифрирование улиц не вызывает затруднений. Они выделяются примыкающими к ним рядами зданий или заборами и изгородями. Помимо этого, заметны проезжие части по светлостному или другому тону, отличающему их от окружения.

При дешифрировании населенных пунктов необходимо учитывать, что на аэроснимках крупных масштабов видны освещенные солнцем части крыш, собственные тени крыш и падающие тени построек. При вычерчивании зданий нельзя присоединять к ним изображение их падающих теней. Избежать подобных ошибок помогает стереоскопический просмотр аэроснимков.

Другой распространенной ошибкой при дешифрировании является неоправданное смещение условных знаков многоэтажных домов, сооружений башенного типа, заводских труб и других высоких объектов. Происходит это из-за того, что на краях аэроснимков такие объекты по свойствам центральной проекции имеют перспективное изображение: их верхние части сдвинуты относительно оснований. На материалах дешифрирования условные знаки высоких объектов должны наноситься строго на местах их оснований. Для этого сначала вычерчивают видимые сторсы последних. Затем через один из углов здания проводят линию, параллельную противоположной видимой стороне основания. На проведенной линии откладывают длину измеренной на аэроснимке противоположной стороны. Полученный накол соединяют с другим углом строения. Тем самым определяется местоположение контура всего основания дешифрируемого здания прямоугольной формы.

Дешифрирование дорог. Дешифрирование железных дорог и подавляющего большинства связанных с ними объектов, как правило, не вызывает затруднений на аэроснимках масштабов 1 : 10 000 — 1 : 15 000. Полоса отчуждения и земляное полотно хорошо выделяются на аэроснимке. Полоса отчуждения, ограничивающая по сторонам дороги леса, пашни и другие угодья, обычно покрыта травянистой растительностью и характеризуется ровным серым тоном, за исключением участков возделанных земель или защитных лесных насаждений.

Значительные по протяженности отрезки железных дорог прямолинейны, а повороты их плавны, округлы. Отсутствие крутых поворотов, а также наличие большого числа насыпей и выемок позволяет легко отличить на аэроснимках железные дороги от шоссейных. Помимо этого, надежными дешифровочными признаками железных дорог являются станции, казармы, будки, которые расположены в полосе отчуждения рядом с полотном дороги. Большую помощь при дешифрировании железных дорог оказывают продольные профили пути, составленные в крупном масштабе.

Автогужевые дороги хорошо выделяются на аэроснимках и могут подразделяться на классы по ряду дешифровочных признаков. От железных автомобильные дороги отличаются более крутыми поворотами, а местами и заметной крутизной подъемов и спусков. Относительно меньше на автомобильных дорогах насыпей и выемок, а полосы отчуждения у них обычно уже, чем у железных дорог. К автомобильным дорогам с боков подходят другие дороги.

Автострადы отличаются на аэроснимках от усовершенствованных шоссе по присущим первым особенностям: большая ширина, наличие разделительных полос, путепроводов и сопутствующих им дорог-съездов. Отличить на аэроснимках усовершенствованные шоссе от простых в камеральных условиях удается далеко не всегда. Аэрофотоизображение мостовых, гравийных и белых щебеночных шоссе, как правило, характеризуется очень светлым тоном, границы их в связи с наличием кюветов резко очерчены. Шлаковые и особенно черные шоссе выделяются более темным тоном, причем самой темной является центральная, наезженная машинами полоса. Материал покрытия шоссе по аэрофотоизображению установить нельзя. Почти все необходимые характеристики содержатся в линейных графиках автомобильных дорог, имеющих в управлении дорог.

По обеим сторонам улучшенных грунтовых дорог на аэроснимках заметны канавы в виде двух тонких темных полосок. Укрепленные добавками или обработанные вяжущими материалами участки имеют тон, отличный от примыкающих к ним отрезков дорог. Однако часто так же выглядят на аэроснимках и обычные шоссе. Разграничению их не всегда помогает и полевое обследование.

Естественные грунтовые дороги на аэроснимках выделяются в виде тонких, обычно светлых линий различной ширины. В отличие от дорог высших классов они гораздо более извилисты, имеют крутые повороты, различные объезды и раздвоения, во многих местах пересекают без насыпей овраги и без мостов — неглубокие реки. Тон аэрофотоизображения грунтовых дорог зависит от степени их засаживаемости и наличия на дороге растительности. Чем сильнее засаживается дорога и чем светлее почва, тем светлее линия дороги на аэроснимке (см. рис. 21, 22).

Вид выючных троп в горных и таежных районах на аэрофотоизображении зависит от торности, характера грунта и наличия растительности. Торные тропы обычно просматриваются как тонкие светлые «ниточки» с нерезкими очертаниями. Они извилисты, местами, особенно на оголенных каменных участках, почти теряются; на избыточно увлажненных поверхностях имеют темный тон. В тундровых и лесотундровых районах встречаются нарвовые дороги, которые на аэроснимках изображаются полоской с нерезкими очертаниями.

ГЕНЕРАЛИЗАЦИЯ ПРИ ДЕШИФРИРОВАНИИ

Топографическое дешифрирование аэроснимков производится для создания топографических карт. Известно, что информационная емкость аэроснимков может быть в десятки, а то и в сотни раз больше информационной емкости топографической карты того же масштаба. Следовательно, дешифрировать надо не все объекты местности, а только те из них, которые будут потом изображены на топографической карте. Очевидно, отбор объектов при дешифрировании должен производиться не произвольно, а по установленным законам. Установление законов отбора, т. е. исключение избыточной информации при переходе от аэроснимка к карте или от карты крупного масштаба к карте мелкого масштаба, — в этом и состоит сущность генерализации.

Проблема генерализации является основой, стержнем картографии. В ней проявляется творчество топографа и картографа. Генерализация применительно к дешифрированию аэроснимков имеет два аспекта: картографический, базирующийся на правилах картографии, и оптический, выполняемый механически, главным образом за счет уменьшения масштаба аэроснимков и соответственно исключения мелких деталей аэрофотоизображения. Исследования генерализации для цели дешифрирования аэроснимков опубликованы в работах [2] и [40].

Рассмотрим практику картографической генерализации при топографическом дешифрировании.

Под картографической генерализацией следует понимать процесс выявления и отображения на картах существенных типичных свойств и характерных особенностей картографируемых объектов и явлений соответственно назначению и масштабу карты.

Типичное — это общее, что содержится в группе различных объектов или явлений. Особенное — это то, что выходит за рамки типичного, что присуще только отдельным объектам. Для того чтобы показать на карте типичные свойства местности, необходимо абстрагироваться от особенностей, отбросить многие особенности. Если совсем исключить особенности, то карта превратится в абстрактную схему, по которой нельзя будет ориентироваться на местности. Поэтому, выявляя типичные свойства местности, следует в то же время отмечать такие детали, которые выходят за пределы типичного.

Картографическая генерализация решается путем: отбора объектов и явлений, подлежащих нанесению на карту; обобщения их качественных и количественных характеристик; обобщения их очертаний (контуров).

Отбор объектов и явлений, подлежащих нанесению на карту, производят по цензам и нормативам. Способ цензов состоит в том, что устанавливают минимальные размеры отдельных объектов, как условие помещения их на карту. Способ нормативов состоит в том, чтобы подчинить процесс отбора определенным, заранее установленным показателям, характеризующим количество или часть объектов, подлежащих нанесению на карту, из всей массы объектов, имеющих на местности. Обобщение качественных и количественных характеристик выражается в определенной системе классификации объектов картографирования. При этом переходят от индивидуальных характеристик объектов к общим, которым присваивают определенный условный знак, и от частных характеристик к комплексным, которые передаются сочетанием условных знаков или изображаются одним комплексным условным знаком. Этот вид генерализации имеет исключительное значение при составлении карт по аэро-спимкам. Обобщение очертаний (контуров) необходимо для повышения наглядности карты и выделения типичных особенностей объектов. Наиболее употребительные приемы обобщений: изменение геометрической формы объектов, изменение их размеров, группировка однородных объектов в одно целое или переход к собирательным единицам изображения.

Цензы, нормативы, классификационные группы и форма фигур объектов и явлений, подлежащих изображению на карте, зависят от двух причин: от предельно допустимой нагрузки карты, от значимости объектов и явлений. Первую причину можно сравнительно строго учитывать, исходя из физиологии зрительного восприятия. Вторая причина трудно поддается учету, так как она зависит от требований потребителей карты, очень различных и часто противоречивых. Вторая причина устанавливается опытным путем по запросам ведомств, пользующихся картами, и отражается в инструкциях по топографическим съемкам и составлению карт. Значение второй причины увеличивается с уменьшением масштаба карты.

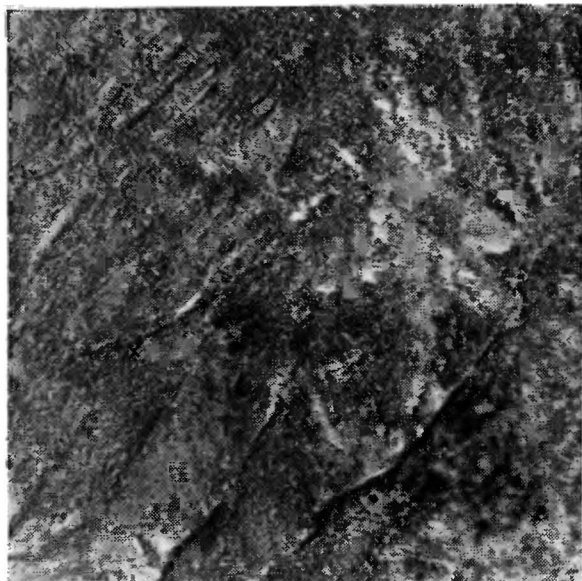
Отбор объектов, подлежащих нанесению на карту с аэроснимков, производят по ценам, устанавливаемым в инструкциях по топографической съемке. Например, озера должны изображаться площадью более 1 мм^2 в масштабе карты, цены для растительности разные и зависят от ее значимости; так, минимальный ценз площади леса установлен 4 мм^2 для нелесных районов и 10 мм^2 для лесных. Инструктивные цены по ряду причин (обеспечение наглядности карты, необходимости «воздуха» карты для работы на ней и др.) всегда больше тех цензов, которые можно установить на основании зрительного восприятия. Покажем это на примере изображения леса по аэроснимкам (рис. 24). На этом рисунке лес для карты масштаба $1 : 25\,000$ изображен двумя способами: фоном с минимальным размером площади контура $0,1 \text{ мм}^2$ (рис. 24,б) и по ценам инструкции (рис. 24,а). Как видно из сравнения образцов изображения леса, информативность аэроснимка выше, чем информативность при предельно допустимой нагрузке карты (рис. 24,а и б), и информативность изображения леса по ценам ниже, чем изображения по требованиям физиологии зрительного восприятия (рис. 24,б и в).

При обобщении качественных и количественных характеристик объектов картографирования по аэроснимкам требуется решение двух задач: 1) распределение картографируемых объектов по градациям принятой классификации, 2) выбор метода изображения комплексных контуров.

Классификация устанавливается при разработке инструкции по топографической съемке и условных знаков для топографических карт. Топограф должен перейти от индивидуальных особенностей, изображаемых на карте объектов, к классификационным группам. Такой переход требует отличного знания географических особенностей района и большого опыта от исполнителей. В природе редко встречаются четкие грани между характеристиками разных объектов, поэтому возникает трудность их классификации. Здесь часто возможны субъективные толкования (например, один топограф может изобразить травянистую растительность как луг, другой — как степь).

Для решения второй задачи требуется установить выбор условных знаков в комплексном контуре. Дело в том, что для полной характеристики комплексного контура может потребоваться большое количество штриховых условных знаков. Однако площадь контура не всегда позволяет разместить все условные знаки. Например, на площади контура порядка 10 см^2 возможно разместить 3—4 разных знака, а комплексный контур тундры может состоять из восьми: редкого леса, кустарника, кустарничка, травы, лишайника, мха, болота и микрорельефа. На основании установленной типичности и значимости тундровых объектов можно, в частности, рекомендовать оставить в контуре тундры редкий лес, кустарник, лишайник и болото.

а



Обобщение очертаний контуров по аэроснимкам проводится при проведении границ между ними. Границы наносят по контрасту аэрофотоизображения, которое может быть четким, расплывчатым и неопределенным.

В случае четкой границы очертания обобщают путем изменения формы и размеров контура или путем группировки отдельных однородных объектов в одно целое.

Расплывчатая граница — это такая, которая четко выражена в натуре, но плохо читается на аэроснимке в силу малой контрастности между фотоизображениями соседних объектов. Такую границу устанавливают по возможности на местности или же проводят камерально посередине расплывчатого фотоизображения.

Неопределенная граница отражает постепенный переход от одного объекта к другому. Неопределенную границу изображают постепенным переходом от одного условного знака к другому, однако злоупотреблять таким переходом нельзя, так как может потеряться наглядность карты и затрудниться подсчет площадей.

Конкретные правила генерализации при топографическом дешифрировании аэроснимков устанавливаются после тщательного изучения географических особенностей картографируемой территории и аэрофотоматериалов и приводятся в редакционных указаниях с соответствующими образцами. На рис. 25 для примера приведена генерализация аэроснимка для карты масштаба 1 : 25 000.



а



Лес
 Редкий лес
 Лопяны

Рис. 24. Пример генерализации леса по аэроснимкам:
а — исходный аэроснимок, *б* — генерализация по предельно допустимой нагрузке карты, *в* — генерализация по цензам инструкции по топсграфической съемке

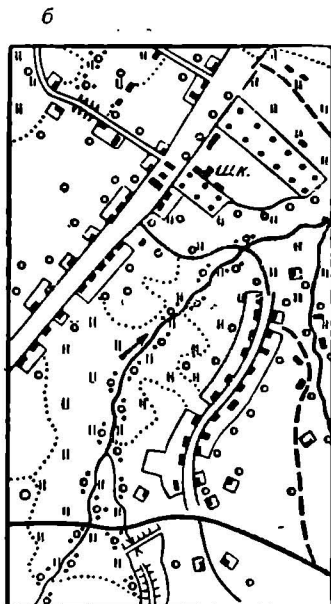


Рис. 25. Пример генерализации аэроснимка для топографической карты масштаба 1 : 25 000:
 а — исходный аэроснимок, б — генерализованное изображение

НЕКОТОРЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ, СВЯЗАННЫЕ С ТОПОГРАФИЧЕСКИМ ДЕШИФРИРОВАНИЕМ

Взаимосвязанные процессы дешифрирования и других операций топографической съемки должны изучаться в курсах аэрофототопографии. Мы остановимся лишь на отдельных технологических вопросах, к которым относятся следующие: сбор и использование материалов картографического значения, сбор и установление географических названий, особенности дешифрирования при обновлении карт, редакционные работы при дешифрировании.

Сбор и использование материалов картографического значения. В СССР выполняется много работ по специализированной съемке местности и исследованию ее для различных народнохозяйственных целей. В результате накоплено и поддерживается на уровне современности значительное количество разнообразных планово-картографических, справоч-

ных и описательных материалов, которые хранятся в ведомственных организациях.

Своевременное выявление, изучение и использование этих материалов позволяет не только существенно сократить объем и стоимость полевого дешифрирования, но и непосредственно понести на аэроснимки необходимые характеристики объектов и географические названия. Примерами таких материалов могут служить альбомы внутренних водных путей, лоции и лоцманские карты, гидрологические ежегодники, плано-картографические материалы гидротехнического и мелиоративного проектирования, паспортные ведомости колодцев, геоморфологические и геологические карты, карты растительности, репродукции с отдешифрированных «Сельхозаэрофотосъемкой» фотопланов, планы землеустройства совхозов и колхозов, планы лесонасаждений и таксационные описания лесов, справочники административно-территориального деления, материалы крупномасштабных съемок городов, карты, альбомы и атласы дорог, продольные профили железных дорог, линейные графики автомобильных дорог, дежурные карты территориальных инспекций Госгеонадзора и др. Методика сбора и использования материалов приводится в специальных руководствах.

Сбор и установление географических названий выполняется на основании Руководства [36]. До начала полевых работ изучают изданные карты и другие материалы (справочники административно-территориального деления, официальные издания Министерств путей сообщения и речного флота, специальные карты и планы, литературно-справочные материалы и др.). Проверяется единообразие написания терминов и собственных названий и определяются названия, подлежащие уточнению на местности.

* Сбор и проверку географических названий на местности ведут топографы, выполняющие топографическое дешифрирование или обследование при обновлении карт. Сбор и выявление названий физико-географических объектов в обжитых районах ведется в каждом населенном пункте, где опрашивают нескольких лиц. В необжитых районах выявляют людей в район-центрах лесхозов, колхозов и т. д., хорошо знающих район-съемки, и узнают названия объектов, расположенных далеко от населенных пунктов. Большое значение имеет выявление местных географических терминов, которые отражают типы гор, оврагов, лесов, лугов, водоемов, болот, песков и т. д.

Нерусские названия должны быть записаны в журнале топографа собственноручно местным жителем. Все случаи несоответствия названий по выявленным источникам и свидетельствам местных жителей проверяются и уточняются с представителями местных органов власти.

Организациям, выполняющим топографическую и гидрографическую съемки в масштабах 1 : 100 000 и крупнее, дано право

присваивать названия физико-географическим объектам: рекам, озерам, вершинам гор, перевалам, болотам, солончакам и таякырам. Предлагаемое название должно: отражать какую-либо природную особенность объекта, быть простым, не дублировать названия одготипных объектов в пределах одного района, не увековечивать имя живущего лица, на национальной территории должны быть сохранены принципы наименования на национальном языке.

Переименования физико-географических объектов допускаются в случаях, когда: названия подписанные на картах, не подтверждаются местными жителями и не соответствуют по своему содержанию и форме существующим на местности названиям; названия появились на карте в результате незнания языка.

Русское написание названий проверяется по «Правилам написания на картах географических названий СССР», а национальные названия транскрибируются согласно инструкциям по передаче географических названий на русский язык с языков народов СССР.

Особенности дешифрирования при обновлении карт. Работы по обновлению топографических карт приняли широкое распространение в практике современного топографического производства. Они выполняются по разным технологическим схемам в зависимости от степени изменения местности, паличия и повизны материалов картографического значения, экономической эффективности отдельных процессов обновления и от других причин. Очевидно, что объем работ по дешифрированию и методы его будут зависеть от принятой технологической схемы обновления карт. Главная особенность дешифрирования при обновлении карт, в отличие от дешифрирования при топографической съемке, состоит в повышении удельного веса камерального дешифрирования, по сравнению с полевым, и в большом привлечении для камерального дешифрирования измерительных операций и материалов картографического значения.

Большое количество исходных материалов, на которых производится обновление карт на производстве, можно свести к трем типам: 1) фотоплапы, составленные по повому залету, 2) фотокопии (светокопии) с оригиналов обновляемой карты, 3) прозрачные пластики с оригиналов обновляемой карты.

Во всех случаях обновления разными способами, в зависимости от принятой технологии, сличают обновляемые оригиналы карты с аэроснимками (фотопланами) пового залета, выявляют изменившуюся ситуацию местности и проводят камеральное дешифрирование изменившейся ситуации. По мере необходимости проводят выборочное поленое дешифрирование в порядке полевой доработки или полевого контроля.

Редакционные работы при дешифрировании.

Целью редакционных работ является обеспечение достоверности и полноты содержания топографических карт, ясности и наглядности изображения на них географических особенностей местности, а также единства в показе однородных элементов местности на всех листах топографической карты данного района. Редакционная работа проводится на всех этапах создания карты.

К редакционной работе, в частности, относится разработка указаний для проведения полевого и камерального дешифрирования и рисовки рельефа, разработка проекта маршрутов полевого дешифрирования, руководство работами по дешифрированию, изображению рельефа и контуров и контроль за качеством их исполнения, выявление и изучение материалов картографического значения.

Собранные материалы систематизируют и отмечают на схеме. На этой схеме намечают участки сплошного полевого дешифрирования, участки, где дешифрирование может быть выполнено камерально с использованием ведомственных материалов, и участки, где нужно проводить полевое дешифрирование по маршрутам.

После анализа и изучения собранных материалов составляется редакционная схема в масштабе 1 : 100 000 — 1 : 300 000. На этой схеме отмечают: участки (ландшафты) с однородными формами рельефа, контурами и гидрографией; участки, где следует проверить на местности характеристики, приведенные на ведомственных материалах; участки, на которых необходимо провести детальные наблюдения над местностью и изготовить образцы дешифрирования и рисовки рельефа.

В соответствии со схемой используемых материалов разрабатывается проект расположения станций наблюдения и маршрутов полевого дешифрирования.

ПОНЯТИЕ ОБ ОТРАСЛЕВЫХ ВИДАХ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ОСОБЕННОСТИ ОТРАСЛЕВОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ

Перечень отраслевых видов дешифрирования неисчерпаем. К ним относятся геологическое, сельскохозяйственное, лесное, гидрографическое, археологическое, социально-экономическое и др.

Между отраслевым и топографическим дешифрированием нельзя провести резкой границы. Как известно, основная задача топографического дешифрирования состоит в распознавании на аэроснянках самых разнообразных объектов местности, доступных, как правило, непосредственному наблюдению и измерению. В то же время отраслевое дешифрирование имеет целью распознавание лишь определенных объектов местности как доступных, так и недоступных непосредственному наблюдению и измерению. При топографических съемках получают разносторонние, по сравнительно простым характеристикам объектов местности, в то время как при отраслевом получают ограниченное количество характеристик местности, которые, однако, часто требуют специальных методических приемов исследований. Эти особенности не могут не отразиться на требованиях к аэрофотоматериалам и на организационно-методической стороне отраслевого дешифрирования.

Топографические объекты на основе специальной карты имеют большое значение: 1) являются готовыми контурами (например, контур леса, болота и др.), для которых требуется получить дополнительные характеристики, соответствующие содержанию специальной карты; 2) являются ориентирами (например, реки, перекрестки дорог и др.), к которым привязываются объекты специального дешифрирования; 3) являются индикаторами, по которым можно определить объекты специального дешифрирования или их характеристики, не поддающиеся непосредственному дешифрированию (например, по рельефу — геологические структуры, по растительности — состав горных пород и др.).

Задачи, решаемые многими видами отраслевого дешифрирования, часто не отличаются по методу решения от топографических задач. К этим задачам относится получение чисто топографических характеристик местности, которые отсутствуют на топографической карте из-за ограниченности программы ее содержания.

Отраслевые задачи дешифрирования решаются уже особыми приемами, различными для каждой отрасли и опирающимися

ся на изучение объектов дешифрирования и их взаимосвязей с топографией местности.

При отраслевом дешифрировании применяются полевой, камеральный и аэровизуальный методы, т. е. те же традиционные методы, что и в топографии. Однако при отраслевом дешифрировании больше, чем в топографии, имеют значение индикационный, эталонный и ландшафтный методы.

Наиболее распространенными видами отраслевого дешифрирования, исходя из объема работ, выполняемых по плану государственного картографирования, являются: геологическое, сельскохозяйственное и лесохозяйственное. Остановимся на краткой характеристике этих видов дешифрирования.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ

Геологическое дешифрирование дает возможность получить высококачественную геологическую карту в более короткие сроки, чем полевыми методами. Это достигается следующим образом:

1) геологические объекты изучаются на местности во взаимосвязи с окружающей средой и сопоставляются с изображением их на аэроснимке;

2) по аэроснимкам нередко можно получить представление о геологическом строении до начала полевых работ и более целесообразно намечать полевые маршруты;

3) полевые маршруты, цель которых заключается только в прослеживании геологических границ, можно вовсе не проводить, если эти границы видны на аэроснимке;

4) структура фотоизображения на аэроснимке в ряде случаев позволяет выявить такие геологические закономерности, которые не видны при наземных обследованиях.

Для составления геологической карты требуется получить данные по структурно-тектоническим элементам, вещественному составу пород и возрасту геологических слоев. Получить с аэроснимков информацию по последней характеристике практически невозможно, так как возраст слоев определяется главным образом по ископаемым остаткам вымерших организмов. Аэроснимки могут иногда дать лишь общие сведения о возрасте, например о том, что нижележащий слой более древний, чем вышележащий.

Остановимся на общей характеристике возможностей дешифрирования структурно-тектонических элементов и вещественного состава пород.

Из всех видов дислокаций на аэроснимках наиболее легко дешифрируются разрывные нарушения. В простейшем случае представляется возможным установить разрыв пластов по их смещению при амплитуде, изобразившейся в масштабе аэроснимка. Наличие разрыва обнаруживается по нарушению не-

прерывности дешифрируемых пластов, которые выражаются резкой сменой пород с различным тоном, сменой форм рельефа, по срезанию слоистости, выклиниванием отдельных горизонтов и т. д. Четко выражены на аэроснимках крупные трещины. Многие разрывы выражаются в рисунке гидрографической сети, в смене растительности. Это относится и к тем случаям, когда разрывы располагаются в пределах однородных толщ (рис. 26).

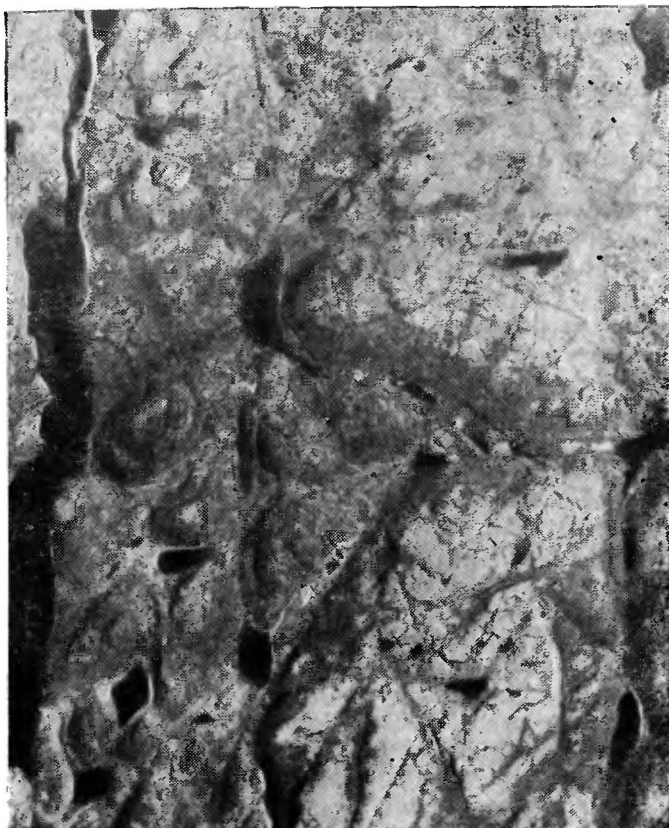


Рис. 26. Изображение на аэроснимке тектонических разломов

В достаточно хорошо обнаженных районах с незначительным развитием четвертичных отложений на аэроснимках дешифрируются отдельные пласты. В этом случае имеется возможность проследить границы между отложениями различного состава, а по характеру этих границ и условиям залегания пластов установить типы складчатых дислокаций.

Слоистость передается на аэроснимках чередованием тонов различной плотности, зависящей от естественной окраски соответствующих слоев. Горизонтально залегающие слои при расчлененном рельефе дают сложный рисунок выходов слоев, пов-



Рис. 27. Изображение на аэроснимке разрушенной антиклинали

торяющий формы рельефа. При наклонном залегании и слабо расчлененном рельефе слои вытягиваются вдоль их общего простирания. Нормальные складки дешифрируются по падению пластов на крыльях, направленных в противоположные стороны от осевой линии складки (рис. 27).

В районах, покрытых растительностью, при дешифрировании геологических границ приходится привлекать геоботанические признаки. Растительность как индикатор вещественного

состава субстрата чутко реагирует на изменение литологического состава отложений, позволяя оконтуривать различные литологические пачки, которые часто соответствуют определенным стратиграфическим комплексам. Например, в залесенной местности горизонтальное залегание слоев нередко подчеркивается расположением древесной растительности, развитой на выходах отдельных слоев более густо или более редко (см. рис. 15).

Породы различного вещественного состава в определенных природных условиях могут иметь близкий характер фотоизображения и, наоборот, одни и те же породы в различных условиях нередко выглядят на аэроснимках по-разному. Это создает трудности при дешифрировании горных пород и затрудняет формулирование универсальных дешифровочных признаков. Одним из важных свойств породы является ее устойчивость к процессам выветривания, что используется как индикатор при геологическом дешифрировании. Чем сильнее различаются породы по сопротивляемости к выветриванию, тем более резко они будут различаться по рельефу, почвенному и растительному покрову и, следовательно, тем более заметна будет разница между ними на аэроснимках.

Эффузивные породы выделяются на аэроснимках по тону, обычно более темному, а также по формам рельефа. Они более устойчивы к выветриванию, чем осадочные породы, вследствие чего нередко образуют уступы, карнизы и бронирующие покровы. Мощные однородные толщи древних эффузивов дешифрируются слабо. На аэроснимках они изображаются темными монотонными полями без слоистости, но с четко выраженными крупными трещинами. Особенно хорошо выделяются на аэроснимках лавовые потоки на склонах современных вулканов. Они выделяются темным тоном, густой сетью трещин и следами течения лавы в виде бугров сжатия, морщин, струйчатости и газовых воронок.

Интрузивные породы отличаются на аэроснимках от осадочных отсутствием слоистости и светлой или более темной окраской. Речная сеть приобретает в районах развития этих пород лапчатый или ветвистый характер, речные долины относительно редки, а разделяющие их водоразделы отличаются крупными размерами и сглаженной поверхностью, обычно испещренной сетью пересекающихся трещин. Наличие этих трещин обуславливает угловатость и прямолинейность речной сети.

При геологическом дешифрировании аэроснимков с помощью фотограмметрических приборов определяют залегания пластов, трассирование пластов, построение геологических профилей. Решение этих задач связано с определенным превышением по разности продольных параллаксов.

Предложено много приборов для приближенного определения разности продольных параллаксов, не требующих точного

взаимного ориентирования аэроснимков, которые успешно используются в геологическом картографировании. К простейшим приборам относятся: палетка геолога-дешифровщика, параллаксометр и др. Более сложными являются оптические приборы, совмещающие стереоскоп с измерительной маркой. Примерами таких приборов являются стереовысотометр В-5, геологические стереометры ГС-2 и ГС-4. Для переноса геологических контуров с аэроснимка на картографическую основу служат стереоскоп-пантографы разных систем. Описание приборов и работы на них приводятся в трудах [4] и [14].

Определение элементов залегания пласта выполняют по трем точкам его подошвы или кровли, выходящим на поверхность и отдешифрированым на паре аэроснимков. Эти точки задают плоскость пластового треугольника. Определив угол наклона пластового треугольника путем измерения разности высот между двумя точками, узнают угол падения пласта.

Трассированием называют метод прослеживания на аэроснимках линий выхода пласта на поверхность при помощи геологического стереометра. Трассирование применяют в том случае, когда прослеживаемый пласт не дешифрируется на всей площади. При этом аэроснимок ориентируют таким образом, чтобы марка прибора совместилась с плоскостью прослеживаемого пласта. Тогда при движении основной каретки марка расскажет рельеф стереомодели по линии выхода этого пласта на поверхность. Ориентирование аэроснимков производится по фотомаркирующим (визуально дешифрирующимся) горизонтам или по элементам залегания пласта, измеренным горным компасом в поле.

Методика построения геологических профилей по аэроснимкам в принципе аналогична построению профилей по полевым наблюдениям и топографической карте. Однако в этом случае применяют методы фотограмметрического определения плановых координат, высот точек и элементов залегания пластов [14].

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ

Задачей сельскохозяйственного дешифрирования является опознавание на аэроснимке местоположения и определение характеристики контуров и объектов, подлежащих государственному земельному учету. К контурам и объектам сельскохозяйственного дешифрирования относятся: границы землепользования; пашни (чистые, засоренные, излишне увлажненные, поливные, пойменные, осушаемые); залежи (чистые, поросшие кустарником, заросшие лесом, заболоченные); сенокосы (заливные, улучшенные, суходольные, заболоченные); пастбища (чистые, улучшенные, заросшие кустарником или лесом, заболоченные, с кочками, засоренные); сады, виноградники и ягодники; земли,

непригодные или малопригодные для использования в сельскохозяйственном отношении (пески, солонцы и др.); резкие формы рельефа (овраги, курганы и др.); некоторые объекты топографического дешифрирования (сельские населенные пункты, дороги, гидрография и др.).

Как видно из перечня объектов сельскохозяйственного дешифрирования, распознавание отдельных видов сельскохозяйственных культур не входит в задачи дешифрирования. Это следует учитывать при выборе сроков аэрофотосъемки и аэрофото-материалов. К последним предъявляется главное требование, заключающееся в том, чтобы получить раздельное по оптической контрастности изображение перечисленных выше видов контуров. На основании предварительных исследований было произведено предвычисление ожидаемых разностей оптических плотностей изображения некоторых сельскохозяйственных контуров на аэронегативах. Были выбраны такие семь сочетаний контуров, которые на местности дают самый меньший оптический контраст [37]. Предвычисленные разности оптических плотностей изображений сельскохозяйственных контуров при $\gamma = 1,5$ даны в табл. 13.

Таблица 13

№ сочетаний	Наименование смежных контуров	Разности плотностей	
		в видимой части спектра	в инфракрасной части спектра
1	Клевер со скошенной тимофеевкой; луг суходольный	0,10	0,16
2	Пшеница в период цветения; луг с лютиком в период цветения	0,21	0,31
3	Луг с ромашкой в период обильного цветения; залежь (полынь цветущая)	0,29	0,84
4	Клевер с тимофеевкой; залежь (полынь цветущая)	0,14	0,56
5	Овес выколосившийся; луг суходольный	0,18	0,21
6	Просо созревшее; залежь (полынь цветущая)	0,02	0,54
7	Ячмень выколосившийся; луг суходольный	0,01	0,17

Данные табл. 13, несмотря на их приближенный характер, позволяют утверждать, что аэрофотосъемка на инфракрасной аэроплёнке дает возможность получить аэроснимки с наилучшими дешифровочными свойствами сочетаний сельскохозяйственных контуров, в то время как на панхроматической аэроплёнке их различия иногда не удалось бы получить, так как эти различия меньше порога контрастной чувствительности глаза.

Основным методом дешифрирования аэроснимков для нужд сельского хозяйства является пока что полевое дешифрирование.

Однако опытному дешифровщику, хорошо знающему местные особенности района съемки, разрешается камеральное дешифрирование четко изобразившихся на аэроснимке контуров. При камеральном дешифрировании основными дешифровочными признаками для опознавания сельскохозяйственных контуров являются тон, цвет и линейная (реже точечная или другая) тональная структура аэрофотоизображения. В большинстве случаев дешифрирование выполняется на фотопланах масштабов 1 : 25 000, 1 : 10 000 и крупнее.

В стадии исследований находится применение микрофотометрического метода дешифрирования (см. VII гл.) для опознавания сельскохозяйственных контуров. Применительно к условиям лесостепи Западной Сибири была выведена корреляционная зависимость между предполагаемым контуром (ПК) и элементами микрофотометрической регистраграммы и почвой. Была предложена таблица шкалы ПК, определяемая по формуле [30]

$$ПК = \sqrt{\frac{A^2 + B^2 + \Pi^2}{2}}, \quad (32)$$

где А — амплитуда волны регистраграммы, В — выброс (расстояние от оси Х до пика кривой регистраграммы), П — вид почвы, оцениваемый по 10-балльной шкале тональности аэрофотонизображения. Измерив величины регистраграммы, указанные в формуле, и определив балл почвы по шкале тональностей, можно по шкале ПК определить название сельскохозяйственного контура. Исследования показали, что средняя квадратическая ошибка определения контуров предложенным методом составляет 6%.

Дешифровщик обязан показать на плане фактическое состояние сельскохозяйственных угодий в момент дешифрирования. Например, сенокосные угодья поросшие кустарником, следует показывать как сенокос с кустарником, а не кустарником; нельзя показывать пашней распаханые сенокосные угодья с целью последующего улучшения травостоя.

Следует отметить дешифрирование по аэроснимкам границ землепользования. Трудности их дешифрирования заключаются в том, что поворотные пункты границ, закрепленные давно, в натуре часто не сохранились. Однако на аэроснимках хорошо изображаются линии границ землепользования (межи), а также окопка межевых столбов, если они совпадают с отчетливым изгибом очертания какого-либо сельскохозяйственного угодья. В настоящее время все больше входит в практику нанесение на фотоплан границ землепользования по координатам. С этой целью отдельные поворотные пункты границ землепользования привязываются к пунктам опорной геодезической сети и производится перевычисление координат землепользования в систему координат опорной геодезической сети.

ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ

Задачей лесохозяйственного дешифрирования является опознавание на аэроснимках местоположения выделов и получение их таксационных характеристик, на основании которых создаются съемочные планшеты и таксационные описания к ним. Таксация леса производится с целью учета, восстановления и улучшения государственного лесного фонда. Применение аэрофотосъемки для таксации леса имеет самую большую историю из всех отраслей народнохозяйственного применения аэрофотосъемки, и поэтому лесохозяйственное дешифрирование накопило богатый научный, организационный и методический опыт.

Съемочные планшеты — первичный картографический материал, создаваемый в процессе лесоустройства, на котором изображаются выделы и их характеристики. В таксационных описаниях, в табличной форме, приводятся те таксационные характеристики, которые не полностью отражаются на планшетах.

Выделом называется участок насаждения леса, однородный в хозяйственном отношении. Таксация выдела заключается в получении сведений по следующим характеристикам насаждений: форма, состав, возраст, бонитет, полнота, запас и др. Перечисленные характеристики получают на основании обследования леса в натуре с ограниченным использованием аэроснимков (таксация высших разрядов) или по данным камерального и аэровизуального дешифрирования аэроснимков (таксация низших разрядов).

Под формой насаждения подразумевается количество высотных пологов леса. Этот показатель в большинстве случаев сравнительно легко определяется при стереоскопическом рассмотрении леса.

Состав насаждения определяется формулой, состоящей из начальных букв русских названий древесных пород и из чисел, определяющих составную часть породы. Например, формула 6С2Б10 означает, что насаждение состоит из 6 частей сосны, 2 частей березы и 1 части осины.

Возраст определяется по градациям 20 лет (для хвойных и твердолиственных пород) и 10 лет (для мягколиственных пород и порослей).

Под бонитетом подразумевается хозяйственная оценка насаждения. Все насаждения по хозяйственной ценности разделяются на 7 классов бонитета. Класс бонитета определяется по специальным таблицам на основании соотношения между возрастом и высотой насаждения.

Полнота определяется отношением суммы площадей сечения данного насаждения к площади сечения нормального полного насаждения той же породы при тех же условиях местообитания. Последняя величина берется из специальных таблиц. Не следует смешивать полноту насаждения с сомкнутостью крош. Сомкну-

тость крон — это отношение суммы площадей крон к соответствующей площади, занимаемой насаждением.

Запас или выход деловой древесины определяется по специальным таблицам на основании подсчета числа деревьев и их толщины на единицу площади.

Рассмотрим вкратце методы определения таксационных показателей по аэроснимкам. Наиболее сложным является дешифрирование состава насаждения. Состав определяется по форме и размеру крон, тону изображения и тени, отбрасываемой деревом, с учетом географических условий местообитания. Большое значение имеет цвет изображения.

Форма изображения крон и их размеры изменяются согласно свойствам аэроснимка как центральной проекции. По мере удаления от центра к краям аэроснимка кроны деревьев изображаются все в более и более наклонном виде, при этом размеры их постепенно увеличиваются. В краевых частях аэроснимка изображение крон напоминает действительную форму их при виде сбоку.

Тон изображения черно-белых аэроснимков зависит от натуральной окраски крон, от освещения в момент аэрофотосъемки, от спектральной отражательной способности крон и условий фоторабот. Поскольку тон не является устойчивым признаком, приходится говорить о соотношении тонов разных крон.

Падающая тень в случаях, когда лучи солнца наклонены к земной поверхности под углом 45° , правильно передает форму крон на равнине; в других случаях формы крон в той или иной степени искажаются.

Важным дешифровочным признаком для распознавания пород деревьев является цвет аэрофотоизображения на спектральной аэропленке. Для примера приводим данные по цвету для лесов Сибири по [5] (табл. 14).

В пособиях по лесоустройству и таксации леса опубликованы подробные дешифровочные таблицы для определения состава насаждения по аэроснимкам [5].

Возраст насаждений и класс бонитета определяются на аэроснимках по прямым и косвенным дешифровочным признакам. С возрастом увеличиваются высота и размер крон деревьев, образующих полог насаждений, которые используются при дешифрировании. Рисунки фотоизображения насаждений различного возраста имеют свои специфические особенности. В молодняках проекции крон мелкие, высоты деревьев небольшие, сомкнутость полога высокая, промежутков между кронами почти не видно. В зрелом возрасте кроны деревьев крупные, обособленные, четко видны форма и величина проекций крон. Определив возраст и измерив высоту древостоев, можно по специальной таблице определить класс бонитета.

Для определения запаса древостоев необходимо произвести

Объект	Цвет аэрофотозображения
Сосна Кедр	Сине-зеленый Сине-зеленый, зеленый с коричневым оттенком
Ель и пихта	Сине-зеленый, темно-зеленый. От сосны и кедра эти породы отделяются с трудом
Лиственница	Оранжевый, желто-оранжевый. По цвету близка к березе
Береза	Желто-оранжевый, оранжевый. Цвет близок к лиственнице и осине
Осина	Оранжевый, красно-оранжевый. По сравнению с березой больше красных оттенков
Сухостой насаждения	Яркий сине-зеленый
Насаждения, поврежденные верховым пожаром	Темно-синий, синий
Насаждения, поврежденные шзовым пожаром	Светло-синий
Вырубки	Цвет зависит от давности вырубки и характера почвенного покрова
Луга	Желто-оранжевый, оранжевый. Скошенные участки светло-синего цвета
Болота моховые	Желтый, желто-зеленый. Увлажненные места синий
Болота травяные	Оранжевый
Кустарники	Оранжевый, оранжево-бурый

подсчет количества деревьев на единицу площади и определить среднюю толщину стволов деревьев.

При подсчете деревьев по аэроснимкам общее количество их всегда будет меньше натурального. Такое несоответствие объясняется тем, что часть деревьев закрыта кронами соседних вышестоящих или их тенями, отдельные кроны рядом стоящих деревьев сливаются друг с другом, радиально смещенные проекции крон крупных деревьев в краевой части аэроснимка закрывают собой соседние деревья, мелкие кроны деревьев не разрешаются фотоизображением, некоторые деревья пропускаются при подсчете. Поэтому в лесной таксации при подсчете деревьев по аэроснимкам вводят поправочные коэффициенты.

Определение сомкнутости полога насаждений по аэроснимкам крупных масштабов (1 : 1000—1 : 2000) производится непосредственным измерением планиметром или палеткой площади, занятой проекциями крон деревьев.

Существует более простой и быстрый способ определения сомкнутости полога. На аэроснимок накладывается линейка и подсчитывается число миллиметров, приходящихся на проекции крон деревьев. Делением этой величины на общую длину линии получают относительную сомкнутость.

Запас древостоя можно определить по формуле

$$M = \Sigma g f H, \quad (34)$$

где M — запас древостоя, Σg — сумма площадей сечения стволов на высоте груди, f — видовое число, значение которого берется из таблицы, H — высота древостоя.

Существуют другие способы определения запаса древостоя, описанные в лесной таксации [5].

У лесоустроителей хорошо разработана методика определения корреляционной связи между таксационными и дешифровочными показателями леса, в частности, методика составления и решения корреляционных уравнений для определения диаметра стволов на высоте груди по высоте дерева или диаметру его кроны. Краткое изложение этой методики дано в IV гл., более подробно — в [5].

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДЕШИФРИРОВАНИЯ

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА АЭРОФОТОИЗОБРАЖЕНИЯ

Повышение информационной емкости аэроснимков, объективизация и автоматизация процесса дешифрирования, получение количественных показателей дешифрируемых объектов и оценка вероятности результатов дешифрирования требуют применения методов статистической обработки исходного или преобразованного по определенной программе аэрофотоизображения.

Статистическая обработка исходного аэрофотоизображения. Предложены различные варианты трех методов статистической обработки исходного аэрофотоизображения: 1) непосредственная обработка аэроснимков, 2) обработка цифровых моделей с аэроснимков, полученных путем цифрования аэрофотоизображения, 3) обработка регистрограмм, полученных с телефотометрических или микрофотометрических профилей.

Первый метод состоит в том, что устанавливают статистические закономерности изображения на аэроснимках исследуемых объектов для выбора эталонов дешифрирования или для выявления географических законов распределения объектов. Так, например, С. В. Викторов [8] предложил объективный метод поиска эталонных аэроснимков путем расчленения их на элементарные неразложимые участки, состоящие из фоновых и диффузных (вкрапленных в фон) физиономичных элементов. Поиск эталонного снимка сводится к поиску такого снимка, физиономичный состав и распределение физиономичных элементов которого были бы наиболее часто повторяющимися для аэрофотоизображения данного типа местности.

Большое значение при геологическом и геоморфологическом дешифрировании имеет статистический анализ аэрофотоизображения размеров, плотности и ориентировки линеаментов (линейно вытянутых объектов). Аэроснимки дают ценную информацию по географическому распределению таких линеаментов, как трещины горных пород, речные долины, песчаные гряды и др.

В качестве иллюстрации второго метода укажем на обработку с помощью ЭВМ материалов многоканальной съемки для автоматического дешифрирования восьми типов горных ланд-

шафтов Йеллоустонского национального парка США. Съемка выполнялась 17-ю каналами в диапазоне волн от 0,4 до 14 мкм с записью изображений на магнитную ленту. Эта запись при помощи ЭВМ преобразовывалась в растровое изображение, выраженные точкими серого тона десяти уровней насыщенности, зависящих от степени отражательной способности конкретного ландшафта. По каждому спектральному каналу с помощью ЭВМ определялись статистические параметры распределения яркости излучения для каждого из восьми ландшафтов. Полученные пороговые уровни яркости вводились в память ЭВМ и с ними сравнивались яркости подлежащих дешифрированию участков [8].

Ограничимся лишь общими замечаниями по первому и второму методам статистической обработки исходного аэрофотоизображения и рассмотрим подробнее третий метод.

Аэрофотографируемый ландшафт представляет собой сочетание яркостей составляющих его элементов (см. III гл.). Регистрация яркостей производится путем телефотометрирования с воздуха, т. е. получением фотометрических профилей прибором телефотометром по маршруту полета самолета. Фотометрические профили можно также получить путем регистрации оптических плотностей аэрофотоизображения по избранному направлению на аэроснимке регистрирующим микрофотометром. Получаемая в результате микрофотометрирования регистрограмма условно воспроизводит фотометрические и геометрические свойства изображения вдоль избранного профиля. Любая точка регистрограммы может быть определена при помощи двух координат — x_i и y_i . Абсциссы x_i позволяют охарактеризовать геометрические свойства изображения, а ординаты y_i — фотометрические (рис. 28).

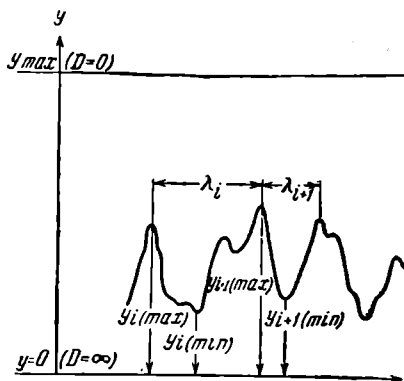


Рис. 28. Элементы регистрограммы

Элементы регистрограммы характеризуются длиной фотометрической волны λ , определяемой как разность абсцисс $\lambda_i = x_{i+1} - x_i$ соседних точек с максимальными или минимальными ординатами регистрограммы и амплитудой фотометрической волны $y_{i \max} - y_{i \min}$, т. е. амплитуда фотометрической волны представляет собой разность ординат этих же точек.

Для получения информации об изучаемых объектах по их регистрограммам целесообразно использовать суммарные статистические характеристики элементов регистрограммы по дан-

мым многократных их измерений. Аналитическое выражение некоторых из этих статистик приведены в формулах (34) [44]

$$\begin{aligned} \Delta \bar{D} &= \frac{\sum_{i=1}^N \Delta D_i}{N}, & \sigma_{\Delta D} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta D_i - \Delta \bar{D})^2}{N}}, \\ \bar{D} &= \frac{\sum_{i=1}^N D_i}{N}, & \sigma_D &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (D_i - \bar{D})^2}{N}}, \\ \bar{\lambda} &= \frac{\sum_{i=1}^N D_{\lambda i}}{N}, & \sigma_{\lambda} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{N}}, \end{aligned} \quad (34)$$

где N — число измерений, $\Delta \bar{D}$ и \bar{D} — средняя деталь и средняя величина оптической плотности соответственно, λ — средняя

длина волн регистрограммы, $\sigma_{\Delta D}$ и σ_D — среднее квадратическое отклонение деталей и величин оптической плотности соответственно, σ_{λ} — среднее квадратическое отклонение длин волн регистрограммы.

Приводим пример регистрограммы по [44], полученный с аэроснимка лесного участка (рис. 29).

Для статистического анализа регистрограмм большое значение имеют две функции — автокорреляционная (АКФ) и статистической спектральной плотности (ССП). Дадим характеристику этих функций по Н. Ф. Афанасьеву [3], исходя из предположения, что аэрофотоизображение является стационарным случайным полем.

В теории случайных функций автокорреляционная функция (АКФ) определяется как смешанный центральный момент вто-

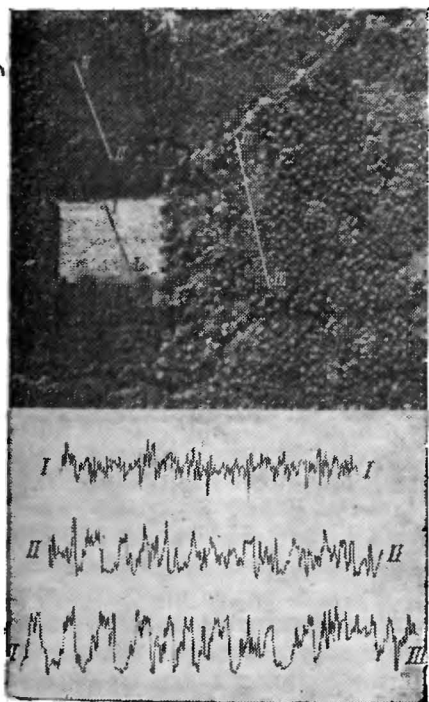


Рис. 29. Аэроснимок и регистрограммы, полученные с него по избранным полям:

I — I — поле картофельное, II — II — сосновый лес, III — III — березовый лес

рого порядка и служит мерой связи между значениями случай-ной функции, соответствующими двум заданным значениям аргумента, разделенным интервалом τ . АКФ регистрограммы определяется из формулы

$$R(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} D(x) D(x + \tau) dx. \quad (35)$$

АКФ фотографического изображения определяет меру связи между значениями оптической плотности и вскрывает его структуру; она показывает, как скоро убывает связь между значениями оптической плотности, и тем самым характеризует его оптические и геометрические свойства. АКФ определяет вероятность того, что изображение, имея в точке x значение D_i , будет в точке $x_i + \tau$ иметь значение D_j , т. е. характеризует взаимную связь D_i, j . Если τ мало по сравнению с разрешающей способностью системы, то D_j мало отличается от D_i , взаимная связь между значениями D_i и D_j велика. При увеличении τ связь между значениями D_i и D_j ослабевает, и они становятся взаимно независимыми, а АКФ стремится к нулю. Убывающая АКФ характерна для совершенно случайных полей. В случае же полей с периодическим законом распределения элементов АКФ будет периодической. В общем случае, когда поле представлено совокупностью периодических и чисто случайных элементов, АКФ будет сложной и равна сумме АКФ составляющих (рис. 30).

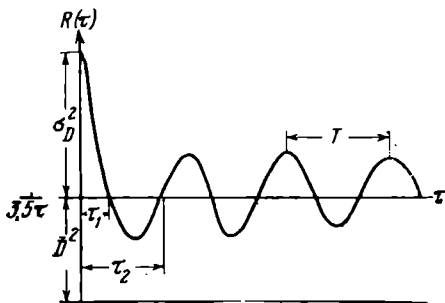


Рис. 30. АКФ изображения со сложной структурой

Применительно к фотоизображению элементы АКФ содержат следующий смысл (см. рис. 30).

1. Значение ординаты в точке $\tau = 0$ равно дисперсии оптической плотности фотонизображения, т. е. характеризует его контраст.

2. Участок τ_1 характеризует изменение связи между оптическими плотностями изображения, а значение τ_1 характеризует среднее расстояние между деталями изображения с большими и малыми плотностями.

3. Участок со значениями τ , большими τ_2 , выражает периодичность в элементах изображения, т. е. позволяет определить

расстояние между элементами, расположенными по периодическому закону.

4. Ордината $R(\tau) = 0$ равна квадрату средней плотности изображения.

На практике вместо АКФ $R(\tau)$ часто рассматривают нормированную АКФ $R_D(\tau)$. Нормирование производится по дисперсии σ_D^2 и выполняется для удобства сопоставления различных функций. Характерной особенностью $R_D(\tau)$ является то, что ее ордината при $\tau = 0$ равна 1.

Нормированная АКФ аэрофотоизображения позволяет выполнять анализ структуры этого изображения, не связывая его с контрастом, что имеет существенное значение при поиске характерных его особенностей.

Наряду с АКФ при исследовании случайных полей широко используется ССП $g(v)$, представляющая собой разложение дис-

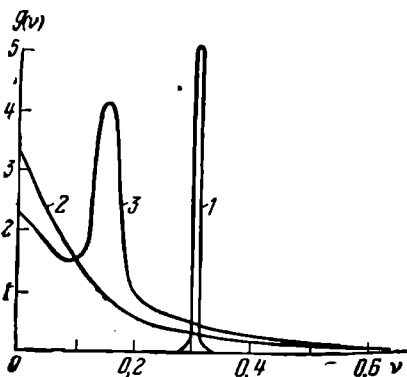


Рис. 31. ССП различных аэрофотоизображений

персии случайного поля на сумму элементарных слагаемых, каждая из которых — дисперсия случайного поля, приходящаяся на элементарный участок пространственных частот. Поскольку дисперсия фотоизображения служит характеристикой контраста, спектральная плотность фотоизображения описывает распределение контрастов этого изображения по частотам.

Для фотоизображений со случайной структурой ССП имеет убывающий характер (рис. 31, 2), причем скорость убывания зависит от вероятности нахождения в изображении мелких деталей. Фотоизображения с чисто периодической структурой имеют ССП с одним максимумом, приходящимся на абсциссу, равную частоте этой периодичности (см. рис. 31, 1).

Фотоизображения со сложной структурой имеют убывающую ССП с максимумом, приходящимся на частоту скрытой периодичности (см. рис. 31, 3).

ССП связана с АКФ преобразованием Фурье и никакой новой информации не содержит, однако она более наглядно представляет распределение контрастов фотоизображения в соответствии с его структурой. Переход от функций АКФ к функции ССП на основании преобразования Фурье можно выполнить по формуле [39]

$$g(v) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} R(\tau) \cos v\tau \, d\tau. \quad (36)$$

Подобно АКФ ССП нормируют по дисперсии σ_B^2 . Нормированная ССП облегчает анализ различных изображений, так как она представляет собой частотно-контрастную характеристику (ЧКХ) изображения, общепринятую при анализе фотографических систем.

Графики функций АКФ и ССП дают объективную оптическую характеристику ландшафтов (урочищ, фаций — см. IV гл.). По виду этих графиков можно произвести оптическую классификацию ландшафтов. Так, например, Д. А. Янутш, Г. А. Сергеев и Н. Ф. Афанасьев [39] разделили статистические характеристики на пять основных классов в зависимости от природы элементов ландшафта и их статистической структуры, характеризующей АКФ и ССП. В результате обработки телефотометрических профилей в Лаборатории аэрометодов МГ СССР создан альбом из 260 АКФ типичных природных объектов лесной и тундровой зон Европейской части СССР.

Ю. С. Толчельников [43] приводит данные по сезонному изменению кривых ССП составных частей ландшафта.

По характеру изменений ССП он разбивает ландшафты на 3 группы: 1) объекты, фенологическое развитие которых приводит к резким изменениям ССП: их кривые имеют существенные сдвиги максимумов в области низких частот, а в определенные сезоны у них появляются дополнительные максимумы в области высоких частот (пропашные культуры, яровые посевы, суходольные луга с выраженным микрорельефом); 2) объекты, фенологическое развитие которых приводит к средним изменениям контраста изображения: у них происходят незначительные сдвиги максимумов кривых ССП в области средних и низких частот (посевы многолетних трав, посевы ржи, залежи); 3) объекты, имеющие стабильные характеристики фотографического изображения и небольшие вариации ССП (хвойные леса).

Структурные изменения изображения большинства природных компонентов ландшафта по сезонам года наблюдаются в области низких частот и связаны с изменением влажности почв и с одновременным развитием мозаичных растительных группировок. В области высоких частот изменение ССП незначительно и проявляется лишь на участках, возделываемых человеком. Они связаны в основном с изменением фактуры поверхности при сельскохозяйственной обработке.

Виды преобразования аэрофотоизображения и статистическая обработка отфильтрованного изображения.

Для улучшения и автоматизации процесса распознавания изображений производят его преобразование. А. Розенфельд

[34] различает пять видов преобразования: дискретизацию, квантование, кодирование, аппроксимацию и фильтрацию. Все виды преобразования в той или иной мере можно применить для дешифрирования аэроснимков.

Дискретизацией называется замена непрерывной функции ее отсчетами. В нашем случае непрерывное полутоновое изображение превращается в дискретное в виде массива чисел для дальнейшей обработки его на ЭЦВМ. Дискретизация может производиться с фиксированным расположением отсчетов (с одинаковыми или неодинаковыми интервалами) и с переменным шагом в зависимости от характера изображения (обычно отсчеты располагают чаще вблизи контуров для сохранения их резкости).

Квантованием называется замена значений функции в каждой точке ближайшими к ним величинами, выбираемыми из конечного множества значений (уровней квантования). В нашем случае это превращение непрерывного полутонового изображения в квантованное в виде ступеней тональности. Квантование может производиться с фиксированным расположением уровней (равномерных и неравномерных) и с переменным шагом в зависимости от характера изображения (например, вблизи резких контуров возможно более грубое квантование). Крайний случай квантования — превращение полутонового изображения в двухградационное (силуэтное или контурное).

Кодированием называется представление изображения в наиболее компактном виде. Примером кодирования может служить получение телефотометрических или микрофотометрических профилей.

Аппроксимацией называется замена данного изображения другим, содержащим меньше информации. Методы аппроксимации, основанные на использовании зрительного восприятия изображений, позволяют построить аппроксимированное изображение лучше воспринимаемое наблюдателем, и в то же время более экономным в информационном отношении. В этом смысле можно рассматривать дискретизацию и квантование как частные случаи и аппроксимации.

Фильтрацией называется обнаружение на изображении некоторой заданной фигуры для коррекции его и для «сглаживания» или «обострения» изображения в целях повышения его качества. В нашем случае фильтрация заключается в извлечении части информации в виде, удобном для последующего автоматического или обычного дешифрирования, т. е. с проработкой наиболее интересных деталей изображения. В зависимости от применяемых технических средств различают три вида фильтрации: оптическую, электронную и фотографическую.

Примером *оптической фильтрации* может служить дифракционный метод анализа аэроснимков по принципу Аббе [46], который состоит в следующем.

Если поместить в параллельный пучок лучей решетку, то свет, диафрагмируя на ней, образует в бесконечности полоску, состоящую из светящихся (максимумов) и темных (минимумов) точек и ориентированную перпендикулярно к направлению штрихов решетки. С помощью линзы изображение полоски может быть выведено на конечное расстояние в главную фокаль-

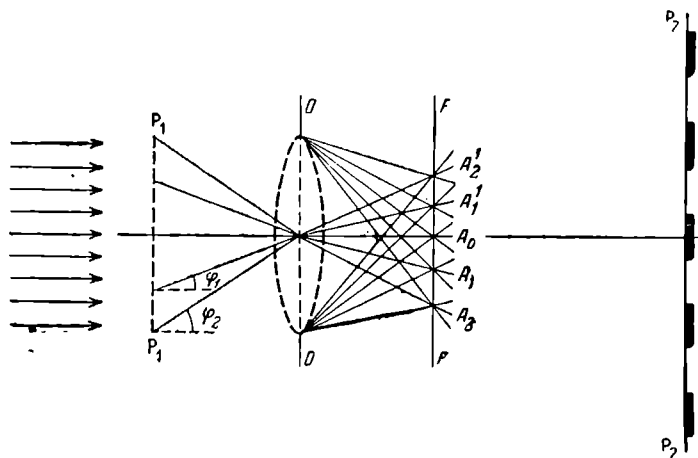


Рис. 32. К дифракционной теории фильтрации

ную плоскость F этой линзы (рис. 32). Угловые расстояния φ_i между максимумами A_i определяются периодом d решетки P_1 и при пропорциональном падении луча на решетку отвечают условию

$$d \sin \varphi = m\lambda,$$

где m — целое число, определяющее порядок максимума, λ — длина волны используемого монохроматического источника света.

Так как все дифракционные максимумы соответствуют когерентным лучам, то за фокальной плоскостью линзы эти лучи, встречаясь и интерферируя между собой, дадут в плоскости P_2 , сопряженной с плоскостью решетки P_1 относительно линзы O , изображение самой решетки.

Если в плоскости дифракционной картины (картины в F) закрыть лучи, идущие от всех максимумов A_i , кроме света от центрального максимума A_0 , то изображение на экране P_2 должно передавать такой объект, дифракционная картина которого сводится только к одному центральному максимуму. Такой случай имеет место тогда, когда параллельный луч света

не претерпел никакой дифракции на предмете, т. е. если предмет отсутствует, и в плоскости P_2 получится равномерная освещенность без всякого изображения.

Если исследуемый предмет, помещенный в параллельный пучок света, состоит из нескольких решеток, каждая из которых имеет свою ориентировку штрихов (например, изображение трещин на аэроснимке), то на дифракционной картине каждая решетка даст свою полосу максимумов света, пересекающуюся с другими полосками в общем центральном максимуме A_0 . Если в полосу дифракционной картины поставить перегородку (фильтр) в виде круга с вырезанными диаметрально противоположными секторами и совместить центр этого круга с положением центрального максимума A_0 , то в плоскости вторичного изображения восстановятся только те решетки, дифракционные максимумы от которых находятся в пределах угла выбранного сектора фильтра. Уменьшая этот угол, можно получить вторичное изображение только одной решетки, а осуществив последовательные повороты фильтра в плоскости дифракционной картины, можно добиться раздельного изображения всех решеток, слагающих общую исследуемую картину.

Оптическая фильтрация с использованием когерентных оптических систем, на основе преобразования Фурье, все более находит применение в выделении линейных элементов ландшафта (линеаментов) и в количественном учете их при дешифрировании морских волн, ледников, трещиноватости горных пород и в других случаях.

Примером *электронной фильтрации* может служить применение электронно-копировальных приборов со сканирующим пятном, работающих по принципу автоматического сканирования и позволяющих использовать прямолинейный участок характеристической кривой позитивных фотоматериалов, что обеспечивает наилучшую передачу малых контрастов негатива. Изобразительные свойства отпечатков улучшаются также за счет печати направленным, а не диффузным светом. Исследования показали, что на отпечатке, сделанном на электрокопировальном приборе, можно различать в 2—3 раза больше деталей, чем на обычном отпечатке.

Принцип работы прибора состоит в следующем. Участки кадра из негатива и фотобумаги последовательно освещаются сканирующим лучом, который образуется проецирующей оптикой от перемещающегося светового пятна на экране электронно-лучевой трубки при соответствующей развертке ее электронного луча. Интенсивность луча, а следовательно, и яркость светового пятна на негативе меняется автоматически в зависимости от плотности участков негатива при помощи электронного устройства. Для получения однородных по плотности отпечатков выполняют автоматическое дозирование экспозиции при помощи реле времени, которое автоматически гасит электронный луч

трубки в зависимости от средней интегральной плотности негатива.

Предложены электронно-копировальные приборы, основанные на других принципах. Можно так составить программу работы этих приборов, чтобы не только улучшить качество позитивной печати, но и преобразовать фотоизображение в заданном направлении.

Фотографическая фильтрация предусматривает избирательное изменение контраста для различных пространственных частот при помощи специальных методов обработки. Один из таких способов основан на использовании *нерезких масок* (рис. 33).

Нерезкая маска изготавливается с оригинального изображения путем контактной печати через стекло. В результате получается *нерезкое изображение*, у которого контраст мелких деталей оказывается уменьшенным по сравнению с крупными. Степень изменения контраста мелких деталей по сравнению с крупными можно варьировать путем выбора соответствующей толщины рассеивающего стекла и других параметров позитивного процесса. *Фильтрованное изображение* получают путем контактной печати с негатива, совмещенного с *нерезкой маской*. При этом происходит избирательное гашение модуляций тона негативного изображения обратным изображением *нерезкой маски*. Подавление низкочастотных модуляций происходит сильнее, чем высокочастотных. Поэтому в *фильтрованном изображении* имеет место эффект усиления контрастов мелких деталей и контурных линий при уменьшении контраста между крупными участками изображения.

На практике параметры фотографической фильтрации подбираются часто эмпирически. Г. А. Сергеев и Д. А. Янущ приносят математическую модель процесса фотографической фильтрации на основе теории передачи модуляций, примененной для фотографических изображений [39]. На основании этой теории статистический спектр отфильтрованного изображения $g_{\Phi}(v)$ определяют из формулы

$$g_{\Phi}(v) = K_{\text{НФ}(v)}^2 g_0(v), \quad (37)$$

где $g_0(v)$ — статистический спектр исходного изображения, $K_{\text{НФ}(v)}$ — ЧКХ фотографического процесса с фильтрацией, рав-

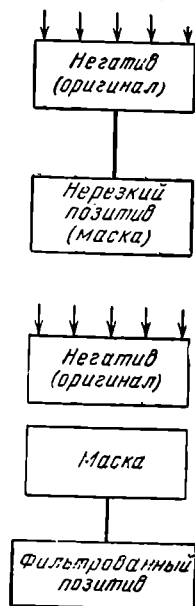


Рис. 33. Схема фотографической фильтрации

a



б



Рис. 34. Изображение освещенных и затененных склонов гор на обычном (а) и отфильтрованном (б) аэроснимке

ная произведению ЧКХ негативного процесса на ЧКХ фильтрации.

Ю. С. Толчельников приводит много примеров, улучшающих информационные возможности аэроснимка после фотографической фильтрации [43]. Так, после одноступенчатой фильтрации, на затененных склонах сопок появились границы почвенно-растительного покрова; на дне озера изобразились глыбы гранитов с трещинами и куртинками водных растений; в дельте реки стали отчетливо различаться участки с травянистой растительностью, участки с зарослями тамарисков и др.

Приведем сравнение обычного и отфильтрованного изображения на примере аэроснимка гор (рис. 34), заимствованного из [39].

Оптическая генерализация. На основании статистического анализа исходного или преобразованного аэрофотоизображения можно установить законы оптической генерализации, по которым дать объективную оценку аэро- и космоснимкам, используемым в качестве картографических материалов, особенно при составлении мелкомасштабных карт.

Под *оптической генерализацией* подразумевается фильтрация высокочастотной составляющей фотоизображения. Законы оптической генерализации должны выводиться на основе анализа частотно-пространственных и частотно-контрастных функций распределения оптической характеристики фотографируемых объектов местности. Такими функциями, в частности, являются рассмотренные выше АКФ и ССП. Можно различать оптическую генерализацию, подчиняющуюся только оптическим законам построения фотоизображения. Назовем ее *неуправляемой оптической генерализацией*. Она зависит главным образом от масштаба фотографирования и от поглощения лучей, идущих от объекта к фотоаппарату, атмосферой. Законы *неуправляемой оптической генерализации* зависят от различительного и разрешающего порогов зрительного восприятия. Такая генерализация присуща исходным непреобразованным аэрофотоизображениям, и она несоизмерима с картографической генерализацией, так как не подчиняется законам логики. В связи с этим непреобразованные аэро- и космоснимки не могут заменить карты соответствующего или близкого масштаба. Они имеют значение как дополнительный материал при составлении мелкомасштабных карт.

Мелкомасштабные карты составляются путем многократной картографической генерализации, при которой часто теряются географические особенности картографируемых объектов, так как происходит часто нивелирование индивидуальных свойств их. Кроме того, в процессе многократной генерализации отражается субъективный подход к изображению объектов и тем самым искажается географическая действительность. Эта специфика картографической генерализации заставляет вводить поправ-

ки в мелкомасштабные карты по данным дешифрирования аэро- и космоснимков.

Оптическая генерализация преобразованного фотоизображения учитывает законы логики, так как выбор параметров преобразования зависит от сознательного учета географических особенностей фотографируемой местности. Назовем ее управляемой оптической генерализацией. Законы управляемой оптической генерализации должны устанавливаться после анализа результатов телефотометрирования и спектрофотометрирования фотографируемой территории. Очевидно, большая роль в выработке правил управляемой оптической генерализации принадлежит анализу графиков функций АКФ и ССП. Ценность преобразованных (фильтрованных) аэро- и космоснимков как исходных материалов для составления мелкомасштабных карт неизмеримо выше, чем ценность обычных непреобразованных снимков. Однако, прежде чем выработать программу преобразования снимков, следует провести еще большие исследования.

ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЕШИФРИРОВАНИЯ

Автоматизация дешифрирования аэроснимков является трудной и вместе с тем очень актуальной проблемой. Несмотря на усилия многих исследователей как в СССР, так и за рубежом эта проблема далека еще от решения. Такой взгляд разделяется большинством специалистов. Чтобы не быть голословными приведем некоторые высказывания по этой проблеме.

На 11-м Международном фотограмметрическом конгрессе (1968 г.) в программном докладе по автоматизации дешифрирования было высказано мнение, что решение этой проблемы — дело отдаленного будущего и машинное сравнение образов аэрофотоизображения по их плотности и виду, которое разрабатывается в целях автоматизации дешифрирования, не может являться генеральным направлением работ. При попытках автоматизировать идентификацию объектов часто упускается из виду зависимость получаемого изображения от большого количества наславляющихся факторов. Идентичность объектов и их значений достовернее устанавливается самим дешифровщиком. Он является лучшей «изучающей машиной» и маловероятно, что вскоре будет создано устройство, вполне заменяющее дешифровщика.

На Международном симпозиуме по дешифрированию (1970 г.) констатировалось, что автоматизация дешифровочного процесса широко ставится в рамках лабораторных исследований, однако принципиально новых идей в этой области не намечилось.

Успеха можно ожидать для автоматического дешифрирования в узко специальных областях и в решении частных, простых но трудоемких задач, главным образом на стадиях подготови-

тельных работ. К усиленным исследованиям частичной автоматизации вынуждает внедрение космической съемки, так как спутники за час съемки дают больше информации по природным ресурсам, чем аэрометоды за год. Обработать такую огромную информацию в короткий срок не представляется возможным.

Теория распознавания образов только формируется, и трудно рассчитывать, что в ближайшее время удастся разработать алгоритмы автоматизированной обработки снимков, которые по полноте извлекаемой из изображения информации могут сравниться со специалистом-дешифровщиком. Однако извлечение существенной доли этой информации — задача достижимая [42]. Автоматическое дешифрирование упрощает и до некоторой степени искажает информацию аэроснимка. Сложное явление расчленяется на сумму простых, а при этом теряется целостность явления как новая качественная ступень его. Автоматическое дешифрирование производится в отрыве от окружающей среды, от смыслового географического анализа и синтеза без учета всех нюансов косвенных дешифрировочных признаков, конкретных индивидуальных, а не формально статистических условий расположения объектов и взаимосвязей между ними.

Процесс автоматического дешифрирования может производиться двумя приемами: 1) автоматическое опознавание образов при просмотре всего аэроснимка, 2) выделение части аэрофотоизображения методом фильтрации и анализ отфильтрованной части.

Приводим обзор состояния автоматического дешифрирования аэроснимков по Д. А. Янутшу [47].

Все автоматические устройства для опознавания изображений при просмотре всего аэроснимка можно разделить на две группы: устройства, опознающие изображения по определенным заранее подобранным признакам (работающие по жесткой программе), и самообучающиеся устройства, которые сами вырабатывают оптимальные признаки и используют их для опознавания изображений.

Разновидности опознающих автоматов, работающих по жесткой программе, определяются характером признаков, которые будут положены в основу распознавания изображений. Устройство должно предусматривать считывание или измерение этих признаков по изображениям, переработку их в форму, удобную для запоминания, и сопоставление признаков эталонных изображений, хранящихся в памяти, с признаками опознаваемых изображений.

Различают детерминированные устройства, опознающие изображения путем сопоставления размеров и формы опознаваемых изображений, и устройства, опознающие изображения по статистическим характеристикам.

Детерминированные устройства применимы к опознаванию силуэтных и контурных изображений, характеризующихся двумя градациями тонов. В случае опознавания полутонового аэрофотоизображения его нужно предварительно преобразовать в двухградационное.

Простейшим методом опознавания таких изображений является совмещение их с шаблоном. Метод предусматривает оптическое проецирование опознаваемого изображения на шаблоны, набор которых исчерпывает всю совокупность классов изображений. Измерение светового потока, прошедшего через шаблон, позволяет установить степень соответствия изображения и данного шаблона. Главным недостатком этого метода является необходимость одинакового ориентирования изображения и шаблона, точное соответствие их формы и размеров.

На принципе опознавания изображений по их статистическим характеристикам основаны, в частности, методы оптической корреляции. Эти методы используют последовательное сопоставление опознаваемого изображения с полным набором эталонных изображений. Однако в отличие от детерминированного метода совмещения изображений с шаблонами, предусматривающего полное соответствие изображения и шаблона, корреляционный метод учитывает соответствие лишь наиболее существенных элементов формы, проявляющихся в наличии корреляционной связи между определенным классом изображений и соответствующим эталоном.

Все опознающие устройства, работающие по корреляционному принципу, состоят из осветительной части, включающей источник света, и объектива, создающего равномерный световой поток в плоскости измеряемого изображения (рис. 35), опозна-

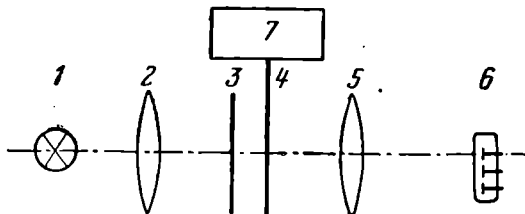


Рис. 35. Схема оптического коррелятора

1 — источник света, 2 — осветительный объектив, 3 — опознаваемое изображение, 4 — эталонное изображение, 5 — измерительный объектив, 6 — ФЭУ, 7 — устройство для перемещения эталонного изображения.

ваемого и эталонного изображений и измерительной части, включающей объектив, который проецирует световой поток на плоскость светочувствительного элемента (ФЭУ). Работа такого устройства сводится к определению максимального значения прошедшего светового потока при различных положениях эталона и исследуемого образца относительно друг друга. Повторение этой операции для различных эталонов позволяет выявить

тот из них, с которым опознаваемое изображение имеет наибольшее сходство.

Основным отличием самообучающихся автоматов является то, что машина в процессе обучения сама извлекает необходимые признаки; выбирает оптимальные их варианты, которые накапливаются в ее памяти, и в дальнейшем по этим признакам опознает объекты. Иными словами, машина работает по «свободной» программе, которая разрабатывается самой машиной и в процессе работы может совершенствоваться. За последнее время конструкции самообучающихся машин значительно усовершенствованы, их возможности в смысле детальности распознавания изображения возросли. Однако в настоящее время они еще далеки от практической применимости. Их участие в процессе дешифрирования реально лишь при классификации однородных изображений.

При автоматизации дешифрирования отфильтрованного изображения производят микрофотометрирование его для фиксации геометрических и фотометрических характеристик аэрофотоизображения. При этом предусматривается автоматизация вычисления указанных характеристик путем сочленения микрофотометра с ЭВМ.

В настоящее время возможна практическая реализация автоматизации процесса дешифрирования, связанного с измерениями исследуемых объектов или их фотометрических и иных характеристик. Для этой цели применяются автоматические измерительные приборы и счетно-решающие устройства. Таким путем определяют, например, сомкнутость кроны деревьев, среднее расстояние между деревьями, средний диаметр кроны и т. д.

Производственное применение автоматического дешифрирования пока что ограничивается распознаванием типов облаков на космических снимках.

ПОНЯТИЕ О ДЕШИФРИРОВАНИИ НЕФОТОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Нефотографические изображения получают в результате электронной съемки. Наибольшее значение для картографической цели имеют радарная и тепловая съемки, дающие полутоновое изображение, отличное по качеству и свойствам от фотографического, но дающее дополнительную информацию к аэрофотографиям (см. I гл.). Приведем характеристику этих съемок по [4].

Дешифрирование радиолокационных (радарных) изображений. Источник и приемник излучения при радиолокационной съемке (РЛС) находятся на самолете, а изображение местности строят путем регистрации отраженного сигнала от элементов ландшафта в малом азимутальном угле. Наиболее перспективны для дешифрирования системы бокового об-

зора, с помощью которых получается изображение двух полюсов местности, параллельных линии полета (рис. 36). Отраженные от поверхности земли сигналы после преобразования в приемном тракте РЛС фиксируются на электронно-лучевой трубке в виде одной строки развертки. Положение на строке отраженных от объектов сигналов определяется наклонными дальностями от

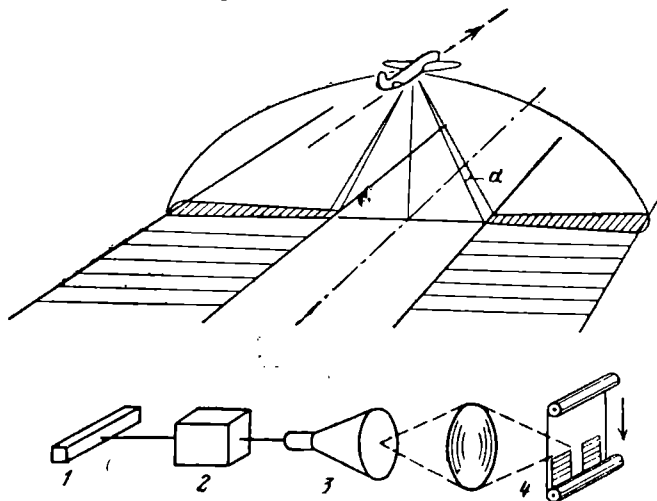


Рис. 36. Принцип действия радиолокационной станции бокового обзора:

α — угол облучения местности, 1 — антенна, 2 — передатчик — приемник радиолокационных сигналов, 3 — электронно-лучевая трубка, 4 — фото-регистрирующее устройство.

источника излучения, а яркость светового пятна — интенсивностью отраженного сигнала. Последняя, в свою очередь, зависит от геометрических форм объектов, характера шероховатости отражающей поверхности, физических свойств объекта, его магнитной и электрической проницаемости, влажности отражающей поверхности и рабочей длины волны. Изображение строки электронно-лучевой трубки фотографируется на непрерывно движущуюся фотопленку, скорость движения которой пропорциональна скорости самолета. Различия в интенсивности отраженных от объектов радиолокационных сигналов создают соответственно различные фотографические плотности на пленке и дают в целом радиолокационное изображение местности, подобное аэрофотографическому.

Важная особенность радиолокационной аэросъемки — это возможность получения изображения в любое время суток и при любых метеорологических условиях. Это объясняется тем, что длина волны гораздо больше размеров частиц тумана, облаков, дыма.

Масштаб радиолокационных изображений определяется параметрами используемой аппаратуры и не зависит от высоты по-

лета. Современные радиолокационные изображения имеют масштаб от 1 : 60 000 до 1 : 400 000.

Дешифрирование радиолокационных изображений принципиально не отличается от дешифрирования обычных аэрофотоснимков, но при этом учитывается специфика формирования изображения. Радиолокационная съемка имеет большую чувствительность к изменению геометрии отражающих объектов, или, что то же самое, к изменению рельефа. На радиолокационном изображении фиксируются достаточно мелкие детали рельефа, что позволяет проводить геологическое дешифрирование, в частности, выявлять складчатые и разрывные структуры, отражающиеся в современном рельефе.

Контрасты радиолокационного изображения зависят от различной способности отражающих поверхностей к диффузному рассеянию волн. Поверхности, состоящие из частиц, размер которых меньше половины длины используемых волн, при небольших углах визирования будут для этих волн зеркальными отражателями. Большинство природных объектов имеет поверхности с неровностями, соизмеримыми или большими половины длины используемых волн, вследствие чего они действуют как диффузный отражатель (рис. 37). Например, от поверхности, сложенной мелкозернистыми породами типа глин, почти весь сигнал

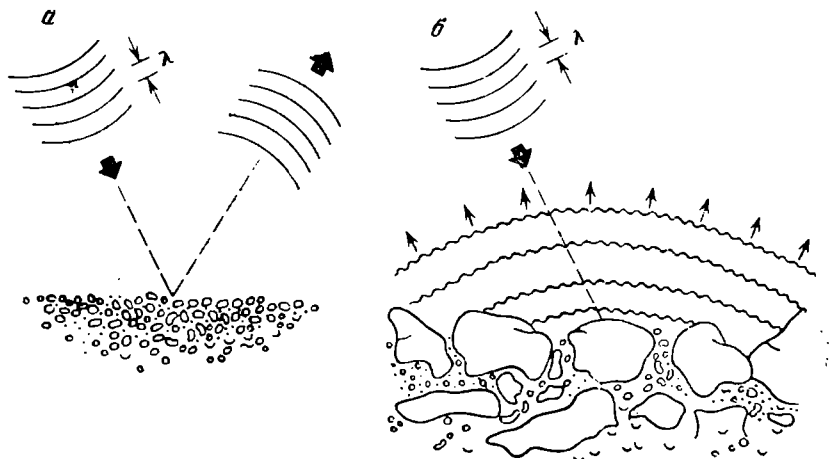


Рис. 37. Отражение радиолокационных сигналов различными поверхностями

зеркально отразится и на радиолокационном аэроснимке они будут темные (рис. 37, а). В то же время поверхности, сложенные грубообломочным материалом, например крупноглыбовыми осыпями, дают мощный отраженный сигнал, который обуславливает светло-серый тон изображения (рис. 37, б).

Использование радиолокационных изображений перспектив-

но при изучении растительности. Анализ текстуры изображения и тоновые сравнения, с учетом географических условий изучаемой территории, позволяют создать карты растительности, разграничить зоны растительности в различных стадиях роста, огранчить участки леса одинаковой высоты.

Важную роль играет радиолокационная аэросъемка при изучении полярных бассейнов. Здесь приобретает огромное значение всепогодность метода. По радиолокационным изображениям морского льда можно дифференцировать его на молодой (сезонный) и многолетний, выделять области скопления айсбергов и определять параметры ледовой обстановки для гидрологических исследований.

Дешифрирование инфракрасных (тепловых) изображений. Современная электронная аппаратура, преобразующая ИК-излучение в видимое на экране электронно-лучевой трубки, позволяет получать тепловые карты местности в диапазоне длин волн 1,8—14 мкм. Чувствительным элементом этой аппаратуры являются фотоэлектрические приемники, регистрирующие излучение земной поверхности в малом телесном угле. Продольная развертка изображения осуществляется за счет движения носителя (самолета), поперечная — за счет вращения приемного элемента (зеркала), которое сканирует местность в пределах определенного угла обзора (60—120°). Законы построения изображения, получаемого сканированием, иные, чем те, по которым строится изображение при аэрофотографировании, поэтому методы фотограмметрии неприменимы к ИК-изображениям.

Масштабы ИК-изображения того же порядка, что и масштабы аэрофотоснимков. Масштаб меняется в направлении, перпендикулярном к линии полета, пропорционально квадрату секанса половины угла обзора. Масштаб в направлении полета постояен при отсутствии колебаний отношения скорости к высоте полета, что практически никогда не наблюдается. Поэтому определение координат на ИК-изображении значительно труднее, чем на аэрофотоснимке. ИК-аэрофотосъемка регистрирует собственное излучение элементов ландшафта в отличие от аэрофотосъемки, где регистрируется отраженная энергия. Это определяет иной характер контрастов деталей ИК-изображения, а также возможность проведения ИК-аэросъемки в любое время суток. В связи с быстрым изменением температурных контрастов местности необходимо тщательно выбирать время проведения ИК-аэросъемки. Например, максимальные температурные контрасты бывают обычно после полудня, вечером они быстро падают. Температурные контрасты вода — земля ночью меняются на противоположные, что сказывается на характере изображения. После дождя температурные контрасты местности сглаживаются.

При дешифрировании необходимо совместно использовать материалы ИК-аэросъемки и аэрофотосъемки.

ИК-аэросъемка позволяет четко фиксировать разнотемпературные потоки, впадающие в морские бассейны, что позволяет картографировать морские и речные течения, регистрировать пути миграции индустриальных сбросов и т. д. Хорошо выражены на ИК-изображении отмели, что связано с большим прогревом дна Солнцем на мелких участках.

ИК-аэросъемка может применяться для контроля с воздуха массивов леса с целью обнаружения очагов зарождения огня. На ИК-изображении контур охваченного пламенем района леса выявляется очень четко, на аэрофотоснимке же он замаскирован обычно сплошным дымом.

ИК-аэросъемка позволяет более уверенно, по сравнению с аэрофотосъемкой, картографировать различные типы льдов, занесенные снегом трещины и т. д.

ПОНЯТИЕ О ДЕШИФРИРОВАНИИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Для картографирования Земли космические снимки служат дополнительным материалом к аэроснимкам и другим картографическим источникам традиционных методов создания карт. По космическим снимкам решаются главным образом следующие задачи:

- изучение быстро развивающихся географических явлений (особенно облачности);
- редактирование мелкомасштабных карт как обзорно-топографических, так и тематических, с учетом законов оптической генерализации (рис. 38);
- картографирование в кратчайшие сроки труднодоступных районов, недостаточно топографически изученных.

Фотографическая космическая съемка производится с автоматических или пилотируемых космических аппаратов камерами формата от 24 до 70 мм и фокусным расстоянием от 38 до 3000 мм с высот, как правило, до 300—400 км. Масштабы снимков имеют диапазон большей частью 1:500 000—1:5 000 000. Современная аппаратура позволяет получать снимки с разрешением на местности 30 м, а сильно контрастных объектов — до 5—10 м.

В геометрическом отношении космические фотоснимки существенно отличаются от аэрофотоснимков. Они имеют большие искажения за счет сферичности Земли, трудности выдерживания вертикального направления оптической оси съемочной камеры, изменения высоты полета, рефракции атмосферы и др. Во все время искажения за рельеф на космических снимках часто практически отсутствуют.

Фототелевизионная космическая съемка регистрирует оптический диапазон электромагнитного излучения с помощью телевизионных систем, устанавливаемых преимущественно на метеорологических спутниках. Высота их полета — 1000 км и более.

a



б

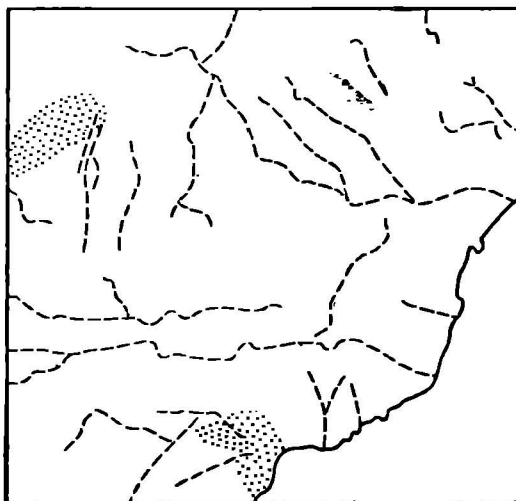


Рис. 38. Сравнение космической фотографии (а) с фрагментом Международной карты мира масштаба 1 : 2 500 000 (б)

Телевизионная система состоит из телевизионной камеры, аппарата для магнитной записи и передатчика. На светочувствительном слое электронно-лучевой трубки телекамеры получается фотоизображение сканируемой поверхности, которое построчно передается на командно-приемную станцию Земли, а когда спутник выходит за пределы радиовидимости, то записывается на магнитную ленту. На станции фотография, полученная либо непосредственно с камеры, либо с магнитной ленты, восстанавливается на телевизионном экране, откуда она переснимается на пленку. При передаче со спутника одновременно дается информация о положении его в пространстве в момент фотографирования.

Масштаб телеснимков колеблется в пределах от 1 : 5 000 000 до 1 : 175 000 000. Наземное разрешение доходит до 500—3 000 м. Телеснимки с американского спутника ЕРТС имеют масштаб 1 : 3 600 000 и разрешение 100 м. Телеснимки имеют те же геометрические свойства, что и фотоснимки.

Более низкая разрешающая способность телеснимков по сравнению с фотоснимками является их существенным недостатком. Зато большое преимущество телеснимков — повторность и регулярность получения изображений и быстрота передачи их на Землю. Существующие системы спутников передают за одни сутки телеизображения практически всей поверхности Земли. Поэтому телевизионная съемка успешно применяется для получения быстро меняющихся явлений, например для изучения облачности.

Особенности дешифрирования космических снимков сводятся к следующему.

Очень мелкий масштаб снимков приводит к сильно генерализованному изображению с обостренными контрастами между контурами. Охват большой территории на одном снимке даст возможность легкого сравнения космического снимка с обзорной топографической картой.

На петрансформированных снимках получается планово-перспективное изображение, особенно на краях, которое трудно учитывать. В частности, трудно подсчитывать радиус полезной площади снимка для измерительного дешифрирования.

Основными дешифровочными признаками являются тон и цвет изображения. Изучению цвета как дешифровочного признака стали уделять большое внимание в связи с полученным синтетическим путем цветных снимков по многокапальной съемке с ЕРТС.

Большое значение приобретает сравнительное дешифрирование серии телеснимков, полученных через короткие промежутки времени. Это дает возможность изучать изменчивость объектов во времени и уточнять дешифровочные признаки тех или иных объектов.

Дешифрирование приходится обычно начинать с выявления контуров облачного покрова. Они могут являться или предметом самостоятельного исследования, или помехой для дешифрирования объектов, закрытых этими контурами.

Особая маскирующая или индикационная роль отводится растительности. Большое значение в связи с этим приобретает исследование цвета различных видов растительности и степени сомкнутости ее.

При любом дешифрировании необходимо всегда привлекать Международную карту мира масштаба 1:2500 000 и более крупномасштабные обзорно-топографические карты.

Обязательным пособием при дешифрировании должны быть карты яркостей земной поверхности, которые строятся по изофотам, получаемым по фотометрическим профилям на космических снимках. Карты яркостей позволяют более обоснованно использовать тон изображения в качестве дешифровочного признака.

Основными дешифровочными признаками топографических объектов являются цветовые контрасты между ними в сочетании с формой для контурного дешифрирования и цветовые характеристики их для диагностического дешифрирования (для характеристики контуров).

Наиболее надежно дешифрируется береговая линия по контрасту между изображением суши и моря и гидрографическая сеть по извилистому контрастному рисунку.

Растительность и грунты дешифрируются по цвету только в том случае, если будут установлены по картографическим, литературным или полевым материалам надежные корреляции между объектами и их фотографическим изображением, что не всегда удается сделать. Большое значение в этом случае имеет исследование цветовой текстуры фотоизображения.

Населенные пункты, дороги и различные сооружения пока что трудно поддаются дешифрированию по космическим фотографиям с точностью, удовлетворяющей обзорно-топографическую карту.

Рельеф на космических фотоснимках не поддается метрической характеристике с большой точностью. По космическим фотоснимкам можно на основании цветовых контрастов провести генерализацию степени изрезанности рельефа, геоморфологическое районирование, получить представление о его некоторых генетических типах (рис. 40).

Рассмотрим вкратце возможности тематического дешифрирования космических снимков.

Дешифрирование облачного покрова является наиболее развитой областью тематического дешифрирования, которое дает ощутимые практические результаты. Опознавание облачных систем и их эволюции на телеснимках дали возможность значительно улучшить краткосрочные прогнозы погоды,

особенно в пределах Мирового океана, где крайне редкая сеть метеорологических станций.

Первая задача, которую приходится решать при дешифрировании облаков, — отделение их от снежно-ледовой и другой поверхности, изображающейся белым тоном. Отделение производится по следующим признакам. Края облачных систем обычно размыты, в то время как районы, покрытые снегом, особенно если это горная местность, имеют четкую границу, часто со сложным ветвящимся орнаментом бесснежных долин. Снежно-ледовый покров относительно стабильный за короткие промежутки времени, и по этому признаку его легко можно отличить от очень динамичного облачного покрова (путем сравнения нескольких последовательных телеснимков). Большие трудности возникают при дешифрировании облаков над снежными поверхностями умеренных и полярных широт в равнинных районах.

Дешифрирование облаков производится по следующим их характеристикам: яркость, текстура, структура, форма, тип и размеры.

Яркость облаков — самая трудная характеристика для исследования, потому что она зависит не только от метеорологических переменных, но и от фотографических факторов. Кроме того, яркость не остается постоянной в одном последовательном ряду фотографий, даже если повторяются те же самые типы облаков. Количество света, отражаемого от облака в космос, зависит не только от характера поверхности облака, но и от относительного положения Солнца. Поэтому нельзя однозначно характеризовать тип облака по постоянному уровню яркости. Иногда солнечный свет, отраженный от поверхности моря, перехватывается спутником и появляется на фотографии в виде размытой области интенсивной яркости — «солнечного зайчика», которая может быть ошибочно принята за облака. Альbedo облаков возрастает с увеличением их толщины.

Наибольшей информативностью отличается характеристика текстуры облаков. Различают три текстуры: матовую, зернистую и волокнистую. Для матовой текстуры характерно отсутствие каких-либо неоднородностей тона изображения. Эта текстура характерна для сплошной слоистой облачности.

Зернистая текстура изображения характеризуется скоплением пятен светлого или темного тона. Наиболее мелкие яркие пятна соответствуют обычно кучевым облакам. Темные пятна на светлом фоне указывают, как правило, на существование слоисто-кучевых облаков. Крупные яркие пятна отображают мощные кучевые облака.

Для волнистой текстуры изображения характерно существование волокон, нитей и полос с нечеткими краями, отражающими присутствие облачности среднего и верхнего ярусов, например, плотных перистых облаков на фоне суши, высокослоистых и др.

Структура облачных образований имеет очень разветвленную классификацию, чаще без определенных геометрических форм. Но встречаются характерные структуры, например, характерные облачные вихри, связанные с циклонами (см. рис. 42,а, верх). Хорошо известна структура перистых облаков в виде лепт. На краях снимков можно видеть перспективный вертикальный разрез облачности, что помогает отличить мощные облака от тонких.

Форма облаков существенна при опознавании кучевой облачности. Например, мощные грозовые кучевые облака представляются на снимках в виде яркого башнеобразного диска с полупрозрачным хвостом перистых облаков.

Размеры облачных систем связаны с определенными атмосферными процессами, и этот признак еще недостаточно разработан.

Дешифрирование снежно-ледовой и водной поверхности. Наиболее просто и надежно опознаются контуры гидрографических объектов. Контуры снега и льда опознают по светлому тону изображения, сопоставляя его с картой. Изменчивость границ распространения снежной поверхности ледников и плавучих льдов установить по картографическим материалам почти невозможно; в этом случае приходится анализировать телеснимки, полученные в разное время.

При дешифрировании снежно-ледовой поверхности работу начинают с отграничения ее от контуров облачного покрова по признакам, описанным выше, а также от других контуров, изображающихся светлым тоном (пески, солончаки и др.). Совсем не разработана классификация снежно-ледового покрова для цели дешифрирования. В литературе приводятся лишь отдельные примеры анализа изображений.

Открытые водосемы легко опознают на снимках по темному обычно резко очерченному тону изображения, сопоставляя изображение контура с картой. Картографическая изученность гидрографии достаточна для успешного решения этой задачи.

При дешифрировании физических характеристик водной поверхности можно реально говорить лишь о выделении различных по температуре морских течений, которые изображаются разным тоном на инфракрасных снимках.

Дешифрирование геологических структур и горных пород. По тону и тональной текстуре удается выявить на снимках важные планетарные закономерности простирающихся тектонических разломов, складок, прогибов, кольцевых структур, трещиноватости и др., а также установить различия между разными типами магматических, осадочных и метаморфических пород. Это позволило уточнить и дополнить геологические карты масштабов 1 : 500 000—1 : 2 000 000 некоторых горных и пустынных районов. В аридных странах тон и тональная текстура непосредственно отражают геологическое строение и

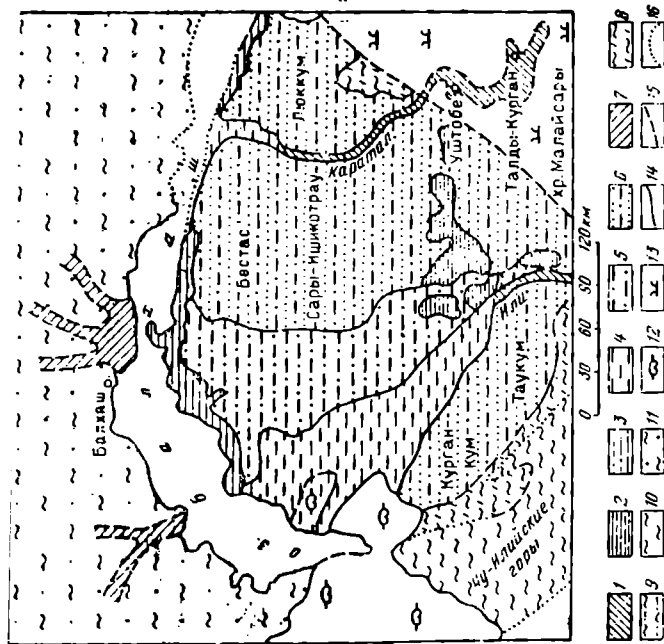


Рис. 39. Геологическая интерпретация телевизионного изображения Прибалашья:

1-7 — аллювиальные отложения различного возраста и состава; 8-11 — делювиальные отложения различного возраста и состава; 12, 13 — облачность различного вида; 14 — четкие границы геологических контуров; 15 — нечеткие границы геологических контуров; 16 — интерполированные границы геологических контуров

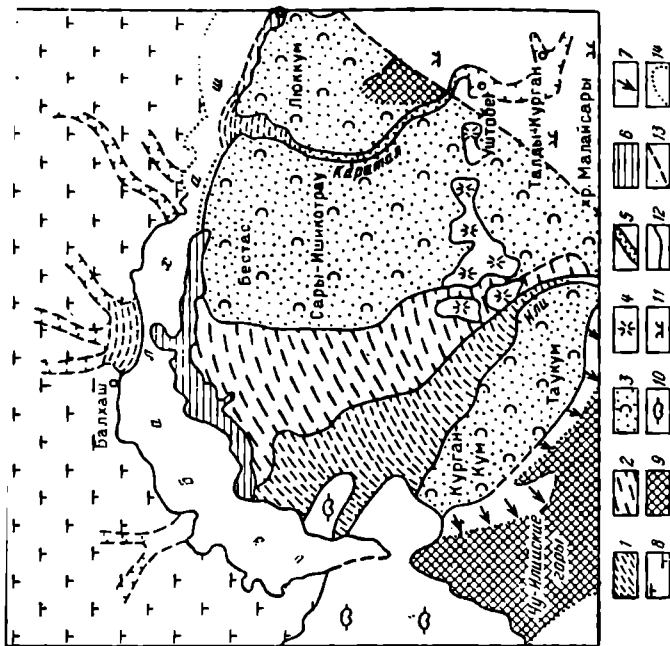
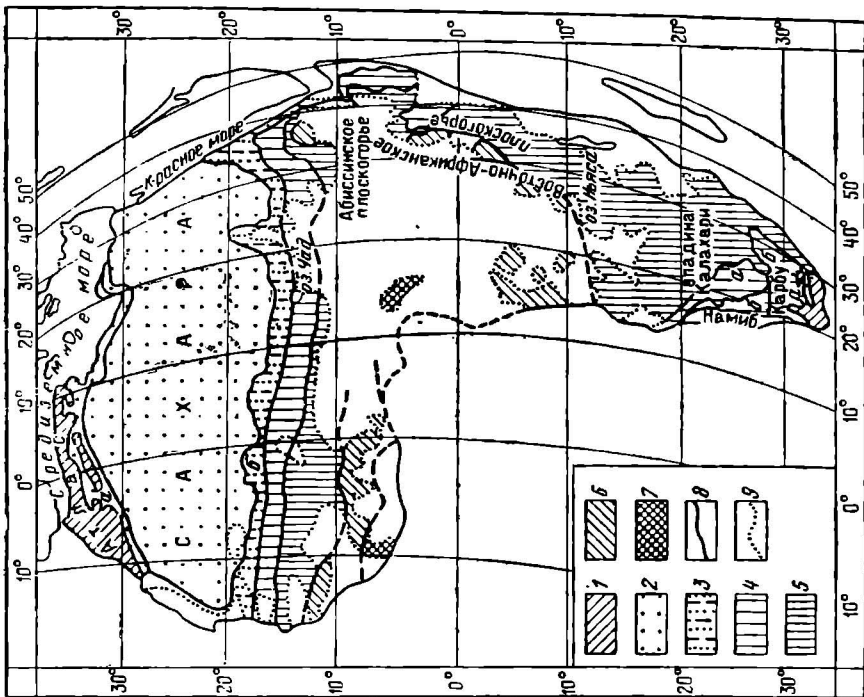


Рис. 40. Геоморфологическая интерпретация телевизионного изображения Прибалашья:

1-4 — аккумулятивные равнины различного возраста; 5 — речные долины; 6 — прибрежные озерные равнины; 7, 8 — денудационные равнины различного характера; 9 — денудационные нагорья; 10, 11 — облачность различного вида; 12 — четкие границы геоморфологических контуров; 13 — нечеткие границы геоморфологических контуров; 14 — интерполированные границы геоморфологических контуров



Рис. 42. Глобальная фотография Земли (а) и изображение ландшафтно-климатической зональности Африки (б):
 1 — жестколистные вечнозеленые леса и кустарники; 2 — пустыни; 3 — злаково-кустарниковые полупустыни; 4 — сухие саванны; 5 — типичные саванны и редколесья; 6 — влажные саванны и саванновые леса; 7 — влажные экваториальные леса; 8 — границы ландшафтных зон; 9 — границы облачности



4) на космических снимках четко дешифрируются узкие зоны нарушений, выраженные в рельефе и в распределении четвертичных отложений.

Генеральным направлением геологического дешифрирования должно быть прослеживание геологических контуров в планетарном и региональном масштабе и геологическое районирование на этой основе. Приведем пример геологического районирования по космическому снимку, приведенному у Б. В. Виноградова [13] (рис. 39).

Дешифрирование растительного покрова — менее разработанная область тематического дешифрирования. В настоящее время на космических снимках возможно лишь проведение предварительного контурного дешифрирования растительного покрова. В частности, удается выделить лес от безлесных участков по тону изображения. Лес изображается бестектурным тоном разных оттенков в зависимости от его состава и условий освещения во время съемки. Обычно лес изображается более темным тоном, чем безлесные участки. В некоторых случаях, если имеется достаточное пространственное и контрастное разрешение, заметна мелкая малоcontrastная текстура изображения сочетаний фитоценозов, например чередование контуров леса с болотами. Главная задача в настоящее время — это совершенствование контурного дешифрирования растительности с целью геоботанического районирования и уточнения контуров мелкомасштабных карт на малообжитые районы. При дешифрировании растительности, более чем при других видах дешифрирования, важной проблемой является исследование цвета как дешифровочного признака. Приведем пример геоботанического районирования по Б. В. Виноградову (рис. 41).

Дешифрирование природно-территориальных комплексов основано на анализе территориальных единиц разного ранга (зоны, области, ландшафты, урочища) и совмещенном распознавании отдельных компонентов географической оболочки. Иллюстрацией дешифрирования ландшафтно-климатической зональности может служить рис. 42. Примером раздельного дешифрирования важнейших компонентов природно-территориальных комплексов могут служить приводимые выше рисунки (см. рис. 39, 40, 41). Опыт комплексного дешифрирования космических снимков еще недостаточен, но данный вид дешифрирования весьма перспективен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альбом образцов топографического дешифрирования аэроснимков. — «Труды ЦНИИГАиК», 1967, вып. 180. 55 с.
2. Альтер С. П. Ландшафтный метод дешифрирования аэрофотоснимков. М., «Наука», 1966. 88 с.
3. Афанасьев Н. Ф. Статистический анализ аэрофотоизображений. — В сб.: Исследования оптических свойств природных объектов и их аэрофотоизображений. М., «Наука», 1970, с. 114—123.
4. Аэрометоды геологических исследований. М., «Недра», 1971, 703 с.
5. Аэрофотосъемка и картографирование лесов Сибири. М., «Наука», 1966. 173 с.
6. Богомолов Л. А. Топографическое дешифрирование природного ландшафта на аэроснимках. Госгеолтехиздат, 1963. 196 с.
7. Богомолов Л. А. Понятие «аэроландшафт» и оптико-географическое исследование земной поверхности. — В сб.: Аэрометоды исследования местности. М., «Недра», 1966, с. 5—17.
8. Богомолов Л. А. Применение аэросъемки и космической съемки в географических исследованиях. ВИНТИ. — Итоги науки и техники. Картография, вып. 4, 1970, с. 148—163; вып. 5, 1975, с. 163—183; вып. 6, 1974, с. 178—203.
9. Богомолов Л. А., Судакова С. С. Специальное картографирование. Части 1 и 2. МИИГАиК, 1971. 135 с.
10. Богомолов Л. А., Судакова С. С. Общее землеведение. М., «Недра», 1971. 229 с.
11. Виноградов Б. В. Система и развитие аэрофотографического эталонирования. — В сб.: Аэрофотографическое эталонирование и экстраполяция. М., «Наука», 1967, с. 5—15.
12. Виноградов Б. В. Обзор оптимальных сроков аэрофотографирования основных типов ландшафтов. — «Изв. вузов. Геодезия и аэрофото-съемка», 1969, вып. 4, с. 75—79.
13. Виноградов Б. В., Кошдратьев К. Я. Космические методы землеведения. Гидрометиздат, 1971. 190 с.
14. Воевода В. М., Глиндзич В. А., Шиккель Л. М. Пособие по фотограмметрическим работам при геологическом дешифрировании. М., «Недра», 1967, 103 с.
15. Гольдман Л. М. Примененне цветной аэросъемки для изучения местности. — «Труды ЦНИИГАиК», 1960, вып. 137. 172 с.
16. Гольдман Л. М. Изучение дешифровочных свойств цветных аэроснимков средних масштабов. — «Труды ЦНИИГАиК», 1962, вып. 155, с. 87—106.
17. Гольдман Л. М. Исследование дешифрируемости аэроснимков на цветных, спектрзональных и черно-белых аэроснимках новых типов. — «Труды ЦНИИГАиК», 1970, вып. 177, с. 111—119.
18. Гольдман Л. М. Топографическое дешифрирование цветных аэроснимков за рубежом. — «Труды ЦНИИГАиК», 1971, с. 27—31.
19. Гольдман Л. М. Дешифрирование аэроснимков. БСЭ, 3 изд., т. 8, 1972, с. 178—179.
20. Гольдман Л. М., Вольпе Р. И. Дешифрирование аэроснимков при топографической съемке и обновлении карт масштабов 1:10 000 и 1:25 000. — «Труды ЦНИИГАиК», 1968, вып. 185. 190 с.
21. Господинов Г. В. Дешифрирование аэроснимков. МГУ, 1961. 186 с.
22. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500. М., «Недра», 1973. 176 с.

23. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании топографических карт и планов. М., «Недра», 1974. 80 с.
24. Исследование оптических свойств природных объектов и их аэрофотографического изображения. М., «Наука», 1970. 169 с.
25. Исследование природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология. М., «Наука», 1973. 173 с.
26. Исследование природной среды с пилотируемых орбитальных станций. Гидрометеоиздат, 1972. 399 с.
27. Киенко Ю. П., Осипов Е. А. Дешифрирование аэроснимков за рубежом.— «Геодезия и картография», 1971, № 3, с. 10—15.
28. Комаров И. С., Рубахин В. Ф., Сафонов Л. Т. Дешифрирование аэроснимков как опознавательный и информационный процесс. В сб.: Аэросъемка и ее применение. М., «Наука», 1967, с. 17—24.
29. Кучко А. С. Аэрофотография. М., «Недра», 1974. 271 с.
30. Платоненко М. А., Филиппов М. В. О количественной оценке и математико-статистической обработке дешифровочных признаков сельскохозяйственных угодий и элементов ландшафта по аэрофотонизображению.— «Изв. Всесоюзного географического общества», т. 102, в. 2, 1970, с. 155—159.
31. Петрусевич М. Н. Аэрометоды при геологических исследованиях. Гостехиздат, 1962. 407 с.
32. Подобедов Н. С. Полевая картография. М., «Недра», 1970. 236 с.
33. Родионов Б. Н. Иконика и иконология. Космическая иконика. М., «Наука», 1973, с. 5—19.
34. Розенфельд А. Распознавание и обработка изображений с помощью вычислительных машин. М., «Мир», 1972. 230 с.
35. Рубахин В. Ф. Психологические основы обработки первичной информации. М., «Наука», 1974. 290 с.
36. Руководство по сбору и установлению географических названий при выполнении топографических работ М., «Недра», 1971. 30 с.
37. Рычков И. Н. Современное состояние сельскохозяйственного дешифрирования аэроснимков. В сб.: Теория и практика дешифрирования аэроснимков. М., «Наука», 1966, с. 101—108.
38. Садов А. В. Проблемы распознавания в инженерно-геологическом дешифрировании аэроснимков. В сб.: Аэрометоды географических исследований. Мос. фил. Всесоюз. географич. общ., 1972, с. 22—26.
39. Сергеев Г. А., Янутш Д. А. Статистические методы исследования природных объектов. Гидрометеоиздат, 1973. 300 с.
40. Смирнов Л. Е. Теоретические основы и методы географического дешифрирования аэроснимков. ЛУ, 1967. 214 с.
41. Смирнов Л. Е. Аэрокосмические методы географических исследований. ЛУ, 1975. 320 с.
42. Сопечкин Д. М. Метеорологическое дешифрирование космических снимков Земли.— «Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра СССР», 1972, вып. 98. 130 с.
43. Толчельников Ю. С. Оптические свойства ландшафта. Применительно к аэросъемке. М., «Наука», 1974. 250 с.
44. Физические основы и технические средства аэрометодов. М., «Наука», 1967. 376 с.
45. Хаджетлаше Ф. М. Приближенные стереоскопические измерения по аэроснимкам при дешифрировании. В сб.: Комплексное дешифрирование аэроснимков. М., «Наука», 1964, с. 24—41.
46. Черкасов И. А. Дифракционный метод анализа аэроснимков и связь его с голографией. В сб.: Аэрофотосъемка — метод изучения природной среды, 1973, с. 38—42.
47. Янутш Д. А. Обзор работ по автоматизации дешифрирования аэроснимков. В сб.: Исследования оптических свойств природных объектов и их аэрофотонизображения. М., «Наука», 1970, с. 146—161.

● ГЛАВЛЕНИЕ

		Стр.
Предисловие		3
Введение		4
Глава I. Общие вопросы дешифрирования		9
	Понятие о дистанционных методах изучения окружающей среды	9
	Информационные свойства аэроснимков	10
	Логическая структура процесса дешифрирования	14
	Дешифровочные признаки	16
Глава II. Физиологические основы дешифрирования		26
	Зрительные пороги	26
	Надежность дешифрирования	29
Глава III. Аэрофотографические основы дешифрирования		32
	Показатели оптической характеристики земной поверхности и их изменчивость	32
	Особенности аэрофотографического воспроизведения оптической неоднородности земной поверхности	40
	Выбор оптимальных параметров аэрофотосъемки для цели дешифрирования	44
	Выбор времени производства аэрофотосъемки в зависимости от оптической характеристики земной поверхности и цели дешифрирования	49
Глава IV. Географические основы дешифрирования		53
	Ландшафты, их компоненты и составные части. Внешние и внутренние элементы строения ландшафта	53
	Индикаторы внутреннего строения ландшафта	54
	Оптическая характеристика ландшафтов, их компонентов и составных частей	58
	Косвенное дешифрирование на основе корреляционных связей между объектами местности	60
	Дешифровочные эталоны и дешифровочные определители	65
Глава V. Дешифрирование аэроснимков при топографической съемке и обновлении топографических карт		69
	Методы топографического дешифрирования	69
	Применение для дешифрирования оптико-механических приборов	76
	Измерение объектов по аэроснимкам при их дешифрировании	79
	Дешифрирование различных топографических объектов	82
	Генерализация при дешифрировании	93
	Некоторые технологические вопросы, связанные с топографическим дешифрированием	98
Глава VI. Понятие об отраслевых видах дешифрирования		102
	Особенности отраслевого дешифрирования	102
	Геологическое дешифрирование	103
	Сельскохозяйственное дешифрирование	107
	Лесохозяйственное дешифрирование	110
Глава VII. Перспективы развития дешифрирования		114
	Преобразование и статистическая обработка аэрофотоизображения	114
	Проблемы автоматизации дешифрирования	126
	Понятие о дешифрировании нефотографических изображений	
	Понятие о дешифрировании космических снимков	
	Список литературы	