

ГЛАВА 4

КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ

4.1. Введение

Данные дистанционного зондирования, которые распространяются сегодня на коммерческой основе, получены с помощью различных съемочных систем и спутников. Поэтому очень важно, чтобы пользователи данных были хорошо осведомлены о форматах записи, видах коммерческой продукции и ее характеристиках. В этой главе все эти аспекты рассматриваются на примере данных, которые получают со спутников IRS и предоставляют пользователям как в цифровом формате, так и в виде обычных снимков.

4.2. Получение, передача и обработка данных

Существует три основных способа передачи данных со спутника на Землю. Первый способ — это прямая передача данных на наземную станцию, которая находится в зоне прямой видимости спутника (рис. 4.1). Если прямая передача невозможна, можно воспользоваться вторым способом: полученные данные сохраняются на спутнике, а затем передаются с некоторой задержкой по времени на Землю. Наконец, третий способ передачи данных основан на использовании системы геостационарных спутников связи TDRSS (*Tracking and Data Relay Satellite System*). В этом случае данные передаются с одного спутника на другой до тех пор, пока в зоне прямой видимости одного из них не окажется наземная станция.

После того как данные в исходном формате поступают на наземную станцию, выполняется их обработка, в результате которой устраняются систематические ошибки и геометрические искажения, а также искажения,

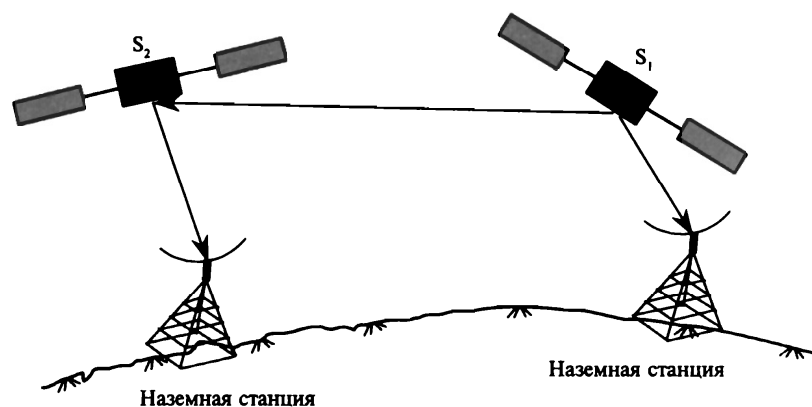


Рис. 4.1. Передача данных ДЗ на Землю

связанные с влиянием атмосферы. Затем данные преобразуются к стандартному цифровому формату и записываются на магнитную ленту или компакт-диск. Как правило, архивы данных формируются на наземных станциях, а базы данных ДЗ находятся в ведении либо государственных организаций (например, NRSA в Индии), либо коммерческих компаний (например, EOSAT в США).

Благодаря быстрой обработке данных космические снимки относительно низкого разрешения предоставляются пользователям уже через несколько часов после выполнения съемки. Такие снимки применяются, в частности, для контроля за ледовой обстановкой во время арктической навигации. Другим примером является съемка в инфракрасном диапазоне, которая используется для борьбы с лесными пожарами. В этом случае обработка данных в режиме реального времени позволяет передавать данные непосредственно тем людям, которые участвуют в тушении пожара.

При коммерческом распространении снимков широко используются снимки очень низкого разрешения (quick look), применяемые для предварительного просмотра предлагаемых архивов. Хотя пространственное и радиометрическое разрешение таких снимков невелико, с их помощью можно оценить общее качество данных и, в частности, их соответствие определенной территории и отсутствие атмосферных помех.

4.3. Данные дистанционного зондирования

Данные дистанционного зондирования называют по традиции снимками, хотя это может привести к некоторой путанице. Традиционный фотоснимок — это представление объекта или сцены на пленке, которое получают с помощью фотокамер. При современном дистанционном зондировании используют сканирующие системы, которые работают в очень узком диапазоне электромагнитного спектра и регистрируют информацию об определенных свойствах объекта в цифровом виде.

Вместе с тем, следует отметить, что, несмотря на изначально цифровой характер данных ДЗ, они предоставляются пользователям как в цифровой, так и в аналоговой форме.

Подробное обсуждение форматов цифровых данных приводится в следующем разделе.

Цифровые данные

В процессе сканирования сенсором генерируется электрический сигнал, интенсивность которого изменяется в зависимости от яркости участка земной поверхности. При многозональной съемке различным спектральным диапазонам соответствуют отдельные независимые сигналы. Каждый такой сигнал непрерывно изменяется во времени, и для последующего анализа его необходимо преобразовать в набор числовых значений. Для преобразования непрерывного аналогового сигнала в цифровую форму его разделяют на части, соответствующие равным интервалам дискретизации (рис. 4.2). Сигнал в пределах каждого интервала описывается только сред-

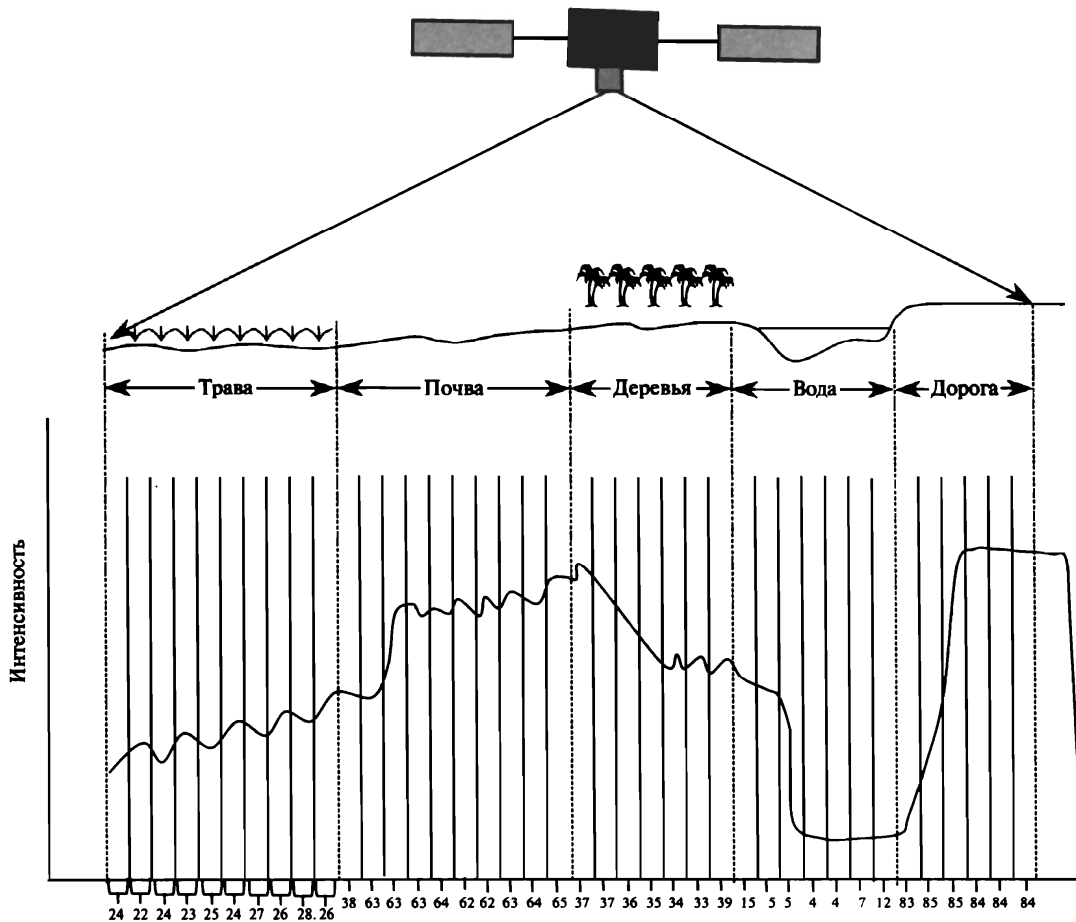


Рис. 4.2. Схематическое представление преобразования исходных данных в значения пикселей

ним значением его интенсивности, поэтому вся информация о вариациях сигнала на этом интервале теряется. Таким образом, величина интервала дискретизации является одним из параметров, от которого напрямую зависит разрешающая способность сенсора. Следует также отметить, что для цифровых данных обычно выбирают не абсолютную, а относительную шкалу яркостей, поэтому эти данные не отражают истинных радиометрических значений, полученных для данной сцены.

Еще одним параметром, от которого зависит разрешение снимка, является способ записи числовых значений. Для записи каждого числа используется ряд двоичных ячеек, которые называются битами. Рассмотрим в качестве примера семибитовую форму записи.

При преобразовании числа из двоичной системы в десятичную номер ячейки задает степень двойки, а двоичное число в каждой ячейке определяет, будет ли добавлена двойка в соответствующей степени к значению данного пикселя (1) или нет (0). Например, десятичную форму записи числа 111111 можно получить следующим образом: $2^6 + 2^5 + 2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^1 + 2^0 = 64 + 32 + 16 + 8 + 4 + 2 + 1 = 127$, а число 1001011 в десятичной системе запишется как $2^6 + 0 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 2^1 + 2^0 = 64 + 0 + 0 + 8 + 0 + 2 + 1 = 75$.

Двоичная форма записи удобна для хранения данных на дисках и магнитных лентах, а также для последующего компьютерного анализа. Набор таких данных обычно называют значениями пикселей или значениями яркости.

Следует отметить, что диапазон яркости на цифровом изображении зависит от количества бит, отведенного для записи чисел. Так, при шестибитовой форме записи максимальное количество значений яркости равно 64, при семибитовой — 128, а при восьмибитовой — 256. При этом, яркость каждого пиксела в этих трех случаях может принимать значения от 0 до 63, от 0 до 127 и от 0 до 255 соответственно.

Отсюда видно, что радиометрическое разрешение цифрового снимка определяется количеством бит, используемых для записи.

Форматы записи данных

Формат записи данных должен быть удобен для их считывания и анализа. В дистанционном зондировании в основном применяют следующие три формата:

1. Формат BIP (*Band Interleaved by Pixel*).
2. Формат BIL (*Band Interleaved by Line*).
3. Формат BSQ (*Band Sequential*).

Формат BIP является одним из первых форматов хранения данных. Он основан на попиксельном способе записи информации, при котором пиксели с одинаковым номером, соответствующие разным каналам съемки, располагаются в записи подряд. Пример схемы записи в этом формате приведен на рис. 4.3, где L_n , P_n и B_n обозначают, соответственно, строку, пиксел и диапазон, а $n = 1, 2, 3$. В этом примере набор данных состоит из двух строк по два пиксела каждая для трех различных каналов съемки. Последовательность записи данных в формате BIP показана на рис. 4.4.

Хотя в некоторых ситуациях этот формат оказывается полезным, для большинства практических задач, в которых объем данных, как правило, очень велик, формат BIP непригоден. Использование данного формата не позволяет быстро отсортировать данные, относящиеся к определенному спектральному диапазону, для которого формируется изображение.

В формате BIL за единицу хранения данных принята строка. Подряд в записи располагаются строки, соответствующие разным каналам съемки, но имеющие один и тот же номер. Типичный пример размещения данных в формате BIL показан на рис. 4.5.

Третьим форматом, который используется для записи данных дистанционного зондирования, является формат BSQ. В этом формате сначала записываются все данные для первого канала, затем для второго, третьего

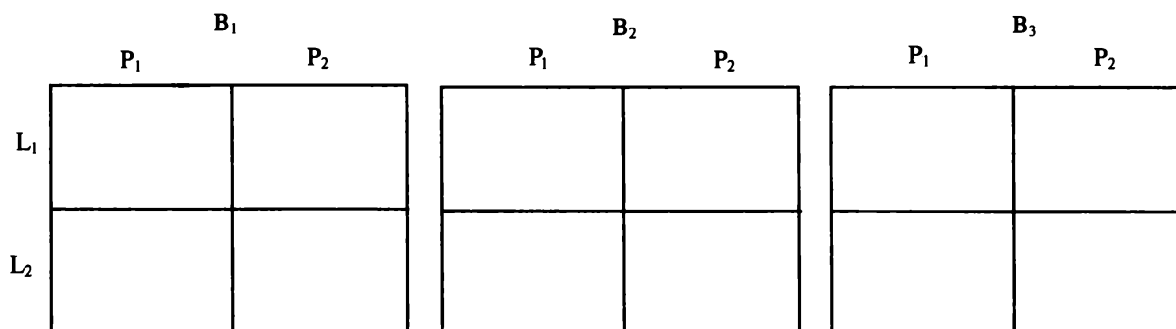


Рис. 4.3. Пример схемы записи данных

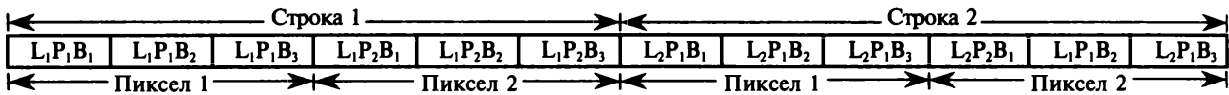


Рис. 4.4. Формат VIP (L — строка, P — пиксел, B — канал)

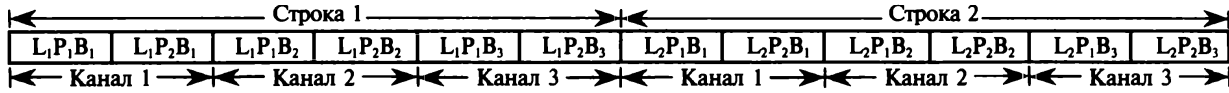


Рис. 4.5. Формат BIL (L — строка, P — пиксел, B — канал)

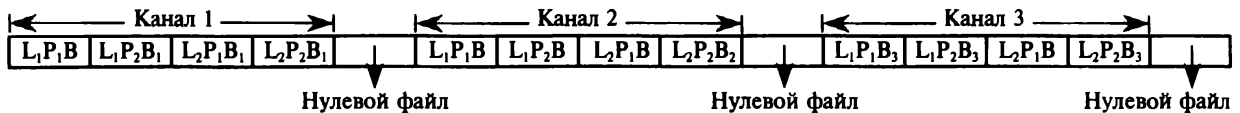


Рис. 4.6. Формат BSQ (L — строка, P — пиксел, B — канал)

и т. д. (рис. 4.6). Таким образом, за независимую единицу хранения данных в формате BSQ принят канал (спектральный диапазон). Этот формат широко применяется на практике, поскольку способ размещения данных ближе всего отвечает задачам их просмотра и анализа. Недостатки этого формата проявляются, если необходимо изучить не всю сцену, а лишь ее небольшую часть. В этой ситуации для выделения нужной области сначала потребуется считать весь набор данных.

Выбор оптимального формата зависит от условий и поставленных задач, а, зачастую, и от наличия определенного оборудования и программного обеспечения. Если изучается вся сцена во всех спектральных диапазонах съемки, удобнее использовать форматы BSQ и BIL. Если анализируется небольшой участок с известным местоположением, то в этой ситуации лучше использовать формат VIP, поскольку значения из всех спектральных диапазонов для этого участка будут находиться в одном месте записи. Безусловно, самая хорошая ситуация — когда есть возможность считать данные, записанные в любом исходном формате, и преобразовать их в тот формат, который наиболее удобен для работы.

4.4. Коммерческая продукция

Данные со спутников поступают на наземные станции в цифровом формате. Тем не менее, потребители могут получать их в виде обычных снимков. В настоящем разделе описываются различные виды данных, которые поставляются индийским Национальным агентством по дистанционному зондированию (NRSA).

Наборы данных NRSA

Вся продукция, как стандартная, так и специальная, может быть представлена пользователям в двух форматах: в цифровом виде и в виде бумажных снимков. Стандартную продукцию составляют данные, прошедшие радиометрическую и геометрическую коррекцию. Специальная продукция проходит, помимо этого, дополнительную обработку.

Уровни коррекции исходных данных перечислены в табл. 4.1

Табл. 4.1. Уровни обработки данных ДЗ [62]

Уровень	Тип обработки
0	Необработанные (исходные) данные
1	Радиометрическая и геометрическая коррекция для целей быстрого просмотра
2	Радиометрическая и геометрическая коррекция (стандартная продукция)
3	Специальная обработка стандартной продукции уровня 2 (например, слияние снимков или улучшение их качества)

Стандартную продукцию пользователи могут получить как в цифровом виде, так и в виде монохромных или псевдоцветных композитных снимков, напечатанных на пленке или бумаге. Цифровые данные предоставляются на одном из стандартных носителей: на магнитной ленте формата SST или Exabyte либо на компакт-диске.

Коррекция исходных данных

Ниже перечислены различные виды радиометрической и геометрической коррекции, применяемой к исходным данным.

Радиометрическая коррекция

Выделяют следующие причины появления радиометрических искажений:

1. Неоднородность отклика детекторов и их различных элементов.
2. Неисправность элементов детектора.
3. Потеря данных при их передаче, архивировании или извлечении из архива.
4. Узкий динамический диапазон.
5. Непостоянство параметров съемки от снимка к снимку.

При радиометрической коррекции отклики всех элементов сенсора нормализуются с помощью специальной таблицы соответствия (LUT, *Look-Up-Table*), при построении которой опорным значением служит наименьшая интенсивность сигнала на снимке. Это же значение можно использовать и для обратного преобразования нормализованных данных в исходные абсолютные единицы.

Пропуски в строках снимка устраняются путем усреднения значений соседних пикселей в той же строке. При наличии пропусков в двух последовательных строках они заменяются строками, содержащими только одно минимальное значение.

Геометрическая коррекция

Ниже перечислены различные виды искажений и их причины.

1. Искажения геометрических параметров сцены съемки, вызванные вращением Земли и ее формой.

2. Искажения, обусловленные геометрией фокальной плоскости сенсора, положением оптической оси относительно ориентации космического аппарата, а также ошибки, связанные с многозональностью и многоэлементностью съемки, различиями в параметрах элементов камеры и отклонением оси съемки.
3. Искажения, связанные с ориентацией снимка относительно направления движения спутника, ошибки, возникающие из-за изменения высоты орбиты, скорости сканирования и направления осей космического аппарата.
4. Искажения, вызванные неправильной оценкой ориентации осей спутника, ошибками калибровки измерения высоты и угла отклонения оси съемки, а также ошибками синхронизации бортовой и наземной шкал времени.

Для геометрической коррекции используют динамическую модель съемки, с помощью которой снимок трансформируется из собственной системы координат в систему координат наземной станции.

После радиометрической коррекции координаты всех точек исходного растра преобразуются из исходной системы координат (строка, пиксел) в географическую (широта, долгота). Затем для выбранной пользователем области задается сетка (растр) в пространстве выходных данных и рассчитываются координаты точек этой сетки в исходной системе координат путем интерполяции ранее полученных значений. Заключительный этап состоит в вычислении уровней серого цвета для всех точек выходного растра с помощью повторной дискретизации исходного снимка.

Картографическая проекция и ориентация изображения (для снимков с географической привязкой) задаются на этапе выбора выходного растра. В заключение все данные записываются в нужном цифровом формате или распечатываются в кадровом виде.

4.5. Пространственная ориентация спутника

Пространственная ориентация является уникальной для каждого спутника и представляет собой удобный способ идентификации географического положения точек на земной поверхности. Схема съемки задается в виде набора трасс и рядов. В этом разделе описывается координатная схема съемки спутников IRS.

Трасса

Трассой называется наземный след витка орбиты спутника. Поскольку период обращения спутников IRS-1C и IRS-1D составляет 101,35 минуты, они ежедневно совершают приблизительно 14 витков вокруг Земли, охватывая всю ее поверхность за 24 дня. Таким образом, период повторяемости съемки у этих спутников равен 341-му витку. Хотя количество трасс совпадает с количеством витков, их нумерация различается.

Первый номер присвоен витку, который проходит через точку $29,7^\circ$ з.д. Второй виток сдвинут относительно первого на $1,055$ град. к западу и т. д.

Вместе с тем, трассы нумеруются в противоположном направлении, то есть витку №1 соответствует трасса №1, витку №2 — трасса №318, а витку №3 — трасса №294. На второй день цикла маршрут спутника будет начинаться с трассы №6, расположенной к востоку от трассы №1.

Ряд

Непрерывный поток данных, регистрируемых вдоль трассы, разделяют на некоторое количество сцен, размер которых подбирают так, чтобы центральная строка одной из них соответствовала экватору. В координатной схеме съемочной аппаратуры LISS-3 первая сцена содержит 6000 строк, а центральная строка сцены располагается на экваторе. Центр второй сцены сдвинут к северу от экватора на 5703 строки, центр третьей — еще на 5703 строки и т. д., вплоть до 81° с.ш. Линии, соединяющие центры сцен на различных трассах, называются рядами.

Ряды параллельны экватору. Так, ряд №1 приблизительно соответствует 81° с.ш., ряд №41 — 40° с.ш., а ряд №75 расположен точно на экваторе. В этой системе координат Индия находится между 65-й и 130-й трассами и между 30-м и 90-м рядами.

4.6. Стандартная продукция

Пользователям данных предлагается несколько видов стандартной продукции ДЗ:

1. Снимки на основе координатной схемы съемки.
2. Снимки со смещением вдоль трассы.
3. Снимки по квадрантам.
4. Стереоснимки.
5. Геопривязанные снимки.

Снимки на основе координатной схемы съемки

Заказывая данные этого уровня обработки, пользователь должен указать следующие сведения:

1. Номер трассы и номер ряда в соответствии с координатной схемой.
2. Идентификационные параметры датчика.
3. Идентификационные параметры части сцены (для датчиков PAN).
4. Дату съемки.
5. Номер канала для панхроматических снимков или комбинацию каналов для псевдоцветных композитных снимков.
6. Код продукции.

Снимки со смещением вдоль трассы

Если пользователю необходимо получить снимки области, которая расположена между двумя последовательными рядами и размеры которой меньше размеров сцены, такие материалы можно предоставить, просто сдвинув

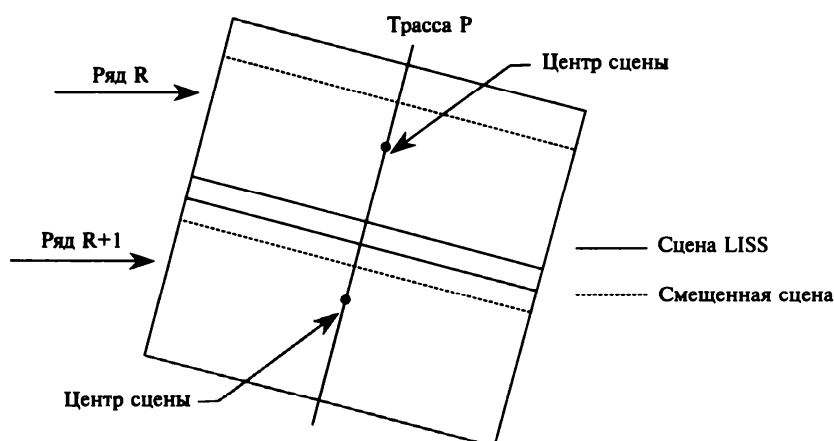


Рис. 4.7. Смещение сцены вдоль трассы спутника [62]

сцену вперед вдоль трассы (рис. 4.7). Этот вид данных называют снимками со смещением вдоль трассы (SAT, *Shift Along Track*).

Помимо тех сведений, которые перечислены в предыдущем разделе, пользователь должен указать величину смещения сцены от 10 до 90% (с шагом 10%). Способ формирования данных этого типа показан на рис. 4.7.

Снимки по квадрантам

При использовании материалов дистанционного зондирования LISS-3 полную сцену разделяют на 4 квадранта. Еще восемь квадрантов получают, сдвигая первые четыре на 25% вдоль и поперек трассы (рис. 4.8). Этот вид данных LISS-3 соответствует масштабу 1:125000.

При использовании камеры PAN сцену разделяют на квадранты так, как показано на рис. 4.9. В этом случае каждый квадрант соответствует полуплоскостному объему данных, получаемых линейкой датчиков.

Стереоснимки

Возможность отклонения оси съемки датчика PAN используют для получения двух снимков заданной области в разные дни под различными углами. Такие снимки называют *стереопарами*. Перед поставкой пользователям к стереопарам применяют только радиометрическую коррекцию. Этот вид

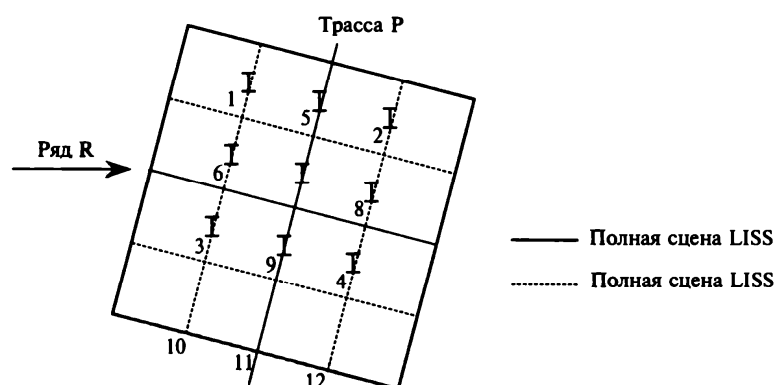


Рис. 4.8. Сцена LISS, разделенная на квадранты [62]

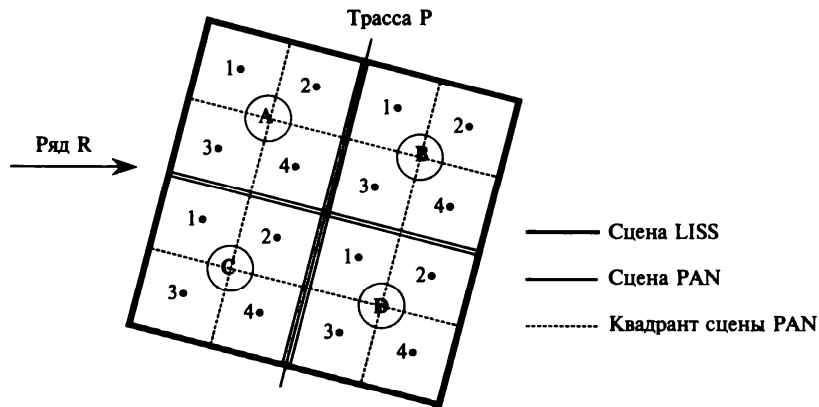


Рис. 4.9. Сцена PAN, разделенная на четыре квадранта [62]

снимков широко применяют для дешифрирования рельефа и при использовании фотограмметрии для создания ЦМР.

Снимки с геопривязкой

Геопривязка заключается в преобразовании снимков в формат, не зависящий от источника данных, и применяется уже после процедур радиометрической и геометрической коррекции. В результате снимки ориентированы строго на север, а их разрешение соответствует масштабу карты. Преимуществом геопривязанных снимков является возможность их наложения на листы топографической карты SOI (*Survey of India*).

Так, снимки PAN соответствуют масштабу 1:25000 карты SOI, а снимки LISS-3 — масштабу 1:50000. В дополнение к тем данным, которые пользователь сообщает при заказе данных на основе координатной схемы съемки, в этом случае он должен также указать номер листа карты SOI. Подробные сведения о геопривязанных снимках приведены в табл. 4.2.

Еще одним видом коммерческой продукции являются геопривязанные снимки PAN, заданные на географической сетке. Каждый такой снимок соответствует области размером $5' \times 5'$ с центром в указанной пользователем точке. Основное преимущество таких снимков заключается в их соответствии масштабу 1:12500.

Специальные виды данных

Специальные виды данных ДЗЗ создаются путем дополнительной обработки стандартных снимков. Это может быть выделение определенной терри-

Табл. 4.2. Геопривязанные снимки со спутников IRS [62]

Тип снимков	Размер снимка	Разрешение	Масштаб
Снимки LISS-3, соответствующие листам карты — геокодированные снимки в видимом диапазоне (панхроматические и композитные)	$15' \times 15'$	23,6 м	1:50000
Геокодированные снимки PAN	$7,5' \times 7,5'$	5,8 м	1:25000

тории, составление мозаики, объединение снимков или применение к ним тех или иных методов улучшения визуального восприятия. Такие наборы данных создаются по заказу пользователей. В качестве примера рассмотрим следующие виды данных:

1. Совмещенные снимки PAN и LISS-3.
2. Ортоотраформированные снимки.

Совмещенные снимки PAN и LISS-3. Этот вид снимков создается для того, чтобы объединить преимущества спектрального разрешения снимков LISS-3 и пространственного разрешения снимков PAN. Для совмещения снимков необходимо выполнение следующих условий:

1. Ось сенсора PAN во время съемки должна быть направлена в нади́р, а сцена съемки совпадать со сценой съемки LISS-3.
2. Разница во времени между двумя съемками не должна превышать нескольких дней.

Псевдоцветные композитные снимки имеют масштаб 1:25000 (соответствие листам карты 7,5' × 7,5').

Ортоотраформированные снимки. Одним из наиболее важных видов специальной коммерческой продукции IRS-1C/1D являются ортоотраформированные снимки, которые создаются на основе стереопар, полученных с помощью сенсора PAN. При использовании данных LISS-3 для получения ортоотраформированных снимков необходимо наличие как минимум четырех наземных контрольных точек и ЦМР, которую обычно предоставляет пользователь данных. Этот вид снимков получается в результате применения к исходным данным всех видов коррекции, включая поправки на рельеф и угла отклонения камеры от нади́ра. Данная продукция предоставляется как в виде фотоснимков, так и в цифровом виде. Масштаб кадровых снимков LISS-3 составляет 1:50000, а масштаб кадровых снимков PAN — 1:25000.

4.7. Форматы записи данных

По желанию пользователей данные дистанционного зондирования со спутников IRS-1C/1D могут быть предоставлены на различных носителях: магнитной ленте, компакт-диске, 8-миллиметровой ленте формата *Exabyte* и т. п. Форматы файлов и структура данных на магнитных лентах являются одинаковыми для всех уровней обработки. Существует два формата, определяющих структуру файлов: упрощенный формат и формат LGSOWG. В первом случае данные записывают в формате BSQ, а во втором — в формате BSQ или BIL.

Данные на магнитных лентах

Плотность записи данных на магнитные ленты составляет 6250 байт на дюйм. При этом используют один из двух описанных ниже форматов.

Упрощенный формат. На магнитную ленту записываются два файла: файл заголовка и файл цифрового снимка. Первым в каждом логическом томе располагается файл заголовка — текстовый файл ASCII-формата,

в котором содержится информация о картографической проекции, параметрах дискретизации и расположении рисок. В файлах снимков содержатся только данные съемки — в каждой отдельной записи нет никакой дополнительной информации.

Формат LGSOWG. Этот формат, помимо данных самой съемки, содержит также информацию о сцене, ее местоположении, параметрах датчика и спутника, а также сведения, относящиеся к обработке данных. В формате LGSOWG используется следующая структура записи:

1. Логический том.
2. Ведущий файл.
3. Файл заголовка.
4. Файл данных съемки.
5. Вспомогательный файл.
6. Нулевой файл.

Логический том состоит из одного или нескольких последовательно записанных файлов. В каждом томе могут содержаться данные, относящиеся как к одному, так и к нескольким спектральным диапазонам. Каждый том начинается с ведущего файла и заканчивается нулевым файлом. Если для записи всех файлов логического тома используется несколько лент, ведущий файл повторяется в начале каждой ленты.

Ведущий файл — первый файл любого логического тома, содержащий дескриптор тома, набор указателей файлов и текстовую запись. Дескриптор тома — это запись, в которой содержится описание логического тома и информация о количестве содержащихся в нем файлов. За дескриптором следует запись с описанием помещенных в этот том данных. Далее располагаются записи указателей файлов для каждого типа данных — в каждой из них указан класс файла, формат записи и атрибуты.

Файл заголовка состоит из дескриптора файла, заголовка файла и дополнительных записей. В заголовке файла содержатся сведения о спутнике, съемочной системе, калибровочных коэффициентах и параметрах обработки данных, а в дополнительных записях — информация о точных координатах и ориентации спутника, параметры картографической проекции, сведения о наземных контрольных точках и примечания.

Файл снимка состоит из дескриптора файла и записи самого цифрового снимка в формате BIL или BSQ. В этой записи есть также поля, в которых указаны количество пикселей, идентификаторы строк снимка, начальное и конечное положение данных съемки в каждой строке.

Вспомогательный файл содержит калибровочные данные и дополнительную информацию. Он состоит из дескриптора файла и вспомогательных записей, количество которых совпадает с количеством каналов съемки.

Нулевой файл указывает на окончание логического тома. Файл содержит только одну запись — дескриптор не существующего тома.

Данные на компакт-дисках

Преимущества компакт-дисков заключаются в их небольших размерах, надежности и невосприимчивости к магнитным полям. Компакт-диски не

деформируются как магнитные ленты, они отличаются невысокой стоимостью, большой емкостью (650 МБ) и возможностью прямого доступа к данным. При этом для считывания данных можно использовать любой дисковод для компакт-дисков, соответствующий требованиям стандарта ISO 9660.

Структура данных на компакт-диске

На компакт-диске могут содержаться данные, относящиеся ко всей сцене, квадранту или выделенной части сцены. Помимо цифровых снимков каждый диск содержит дополнительную информацию и описание формата. Все эти данные записываются в каталог, который называется PRODUCT. Номер заказа и описание данных помещают в файл CDINFO. Кроме того, на каждом диске содержится программа DISPLAY.EXE, с помощью которой можно просматривать монохромные снимки на EVGA-мониторах.

Формат записи данных на компакт-диски. Для записи данных на компакт-диск используют те же два формата, что и для записи на магнитную ленту: упрощенный и LGSOWG.

Имена файлов. При записи данных на компакт-диск используют следующие стандартные имена файлов:

Формат LGSOWG

VOLUME.PAN/L3/WIF	Ведущий файл
LEADER.PAN/L3/WIF	Файл заголовка
IMAGERY.PANA3 WIF	Файл снимков
TRAILER.PAN/L3/WIF	Вспомогательный файл
NULL.PAN/L3/WIF	Нулевой файл

Упрощенный формат

HEADER.PAN/L3/WIF	Файл заголовка
BANDx.PAN/L3/WIF	Файл снимков, где $x = 1, 2, 3, 4, 5$.

ГЛАВА 5

ДЕШИФРИРОВАНИЕ СНИМКОВ

5.1. Введение

Космический снимок содержит подробную информацию о состоянии объектов земной поверхности в момент съемки. Для дешифрирования снимков используют специальные методы и дополнительные данные, полученные из различных источников — карт, отчетов о полевых исследованиях и ранее полученных результатов анализа снимков той же территории. Дешифрирование основывается на определенных физических характеристиках объектов и явлений, а его результаты зависят от опыта оператора, типа распознаваемого объекта и качества снимка.

5.2. Процедура дешифрирования

Дешифрирование определяют как процесс изучения снимков с целью идентификации объектов и оценки их значимости. Дешифрирование является сложной задачей, для решения которой необходимо выполнить ряд работ по классификации и подсчету количества объектов, измерению их параметров и определению границ [11].

Первым этапом дешифрирования является классификация объектов, в ходе которой оператор относит различные объекты на снимке к определенным классам или кластерам. Процедура классификации также состоит из нескольких этапов, первым из которых является выделение пространственных объектов. Затем на этапе распознавания устанавливается тождество между отдельными объектами и соответствующими классами. Для выполнения этого шага необходимы дополнительные знания об изучаемой территории. Наконец, на заключительном этапе, который называется идентификацией, каждый объект на снимке приписывается с некоторой степенью вероятности к одному из определенных классов.

Следующий этап дешифрирования — подсчет количества объектов на снимке — во многом зависит от того, насколько точно была проведена их классификация.

Третий этап состоит в определении геометрических характеристик объекта: длины, площади, объема и высоты. К этому этапу относится и денситометрия — измерение яркостных характеристик объекта.

Последний этап заключается в определении контуров однородных по своим свойствам объектов или пространственных областей, которые при этом закрашиваются определенным цветом или штриховкой. Эту задачу проще выполнять при наличии у объектов четких границ и гораздо слож-

нее там, где свойства объектов изменяются плавно, например, на границе водоема и песчаных почв.

Для успешного дешифрирования очень важно понимать, от каких параметров зависит представление объекта на снимке. Эти параметры подробно обсуждаются в следующем разделе.

5.3. Дешифровочные признаки

Для систематической идентификации, распознавания и определения границ объектов используют определенные характеристики изображений, которые называются дешифровочными признаками. Примеры таких признаков приводятся ниже.

Размер объекта зависит от масштаба. Как правило, при дешифрировании анализируются относительные размеры объектов на одном и том же снимке. Например, размер частного дома должен быть меньше размера крупного торгового центра.

Форма объекта или его контуров является очень четким критерием дешифрирования. Как правило, объекты, созданные человеком (например, дороги, каналы, здания), имеют четкие границы и правильную форму, а форма природных объектов — лесных массивов, водоемов и пр. — является очень нерегулярной.

Тон объекта характеризует его относительную яркость или цвет. Это один из наиболее важных качественных критериев дешифрирования. Обычно тон объекта определяется как темный, средний или яркий.

Структура изображения определяется взаимным расположением объектов на снимке. Как правило, отчетливая и хорошо распознаваемая структура возникает в местах периодически повторяемых тонов и текстур. Так, например, разную структуру образуют упорядоченные дома в городе и деревья в саду.

Текстура, или частота изменений тона в определенной области снимка, является качественным параметром и обычно характеризуется как резкая или плавная. Например, сухие песчаники обладают плавной текстурой без выраженных вариаций тона. Наоборот, текстура смешанного леса является очень резкой из-за частых пространственных изменений тона, которые связаны с различием в форме и размерах верхушек деревьев разных пород и вариациями плотности лесного покрова.

Тень является одним из наиболее важных критериев дешифрирования, поскольку она дает представление об относительной высоте и профиле объекта. В горных районах тень хорошо подчеркивает топографические особенности рельефа и является полезным критерием при дешифрировании геологических структур.

Взаимосвязи — еще один важный критерий дешифрирования, определяющий закономерности взаимного расположения близлежащих объектов. Например, небольшие участки земли белого цвета, расположенные нерегулярно вдоль реки, свидетельствуют о наличии у нее сухого песчаного берега. Сетка линий и регулярно расположенные прямоугольные объекты между ними указывают на территорию городского типа.

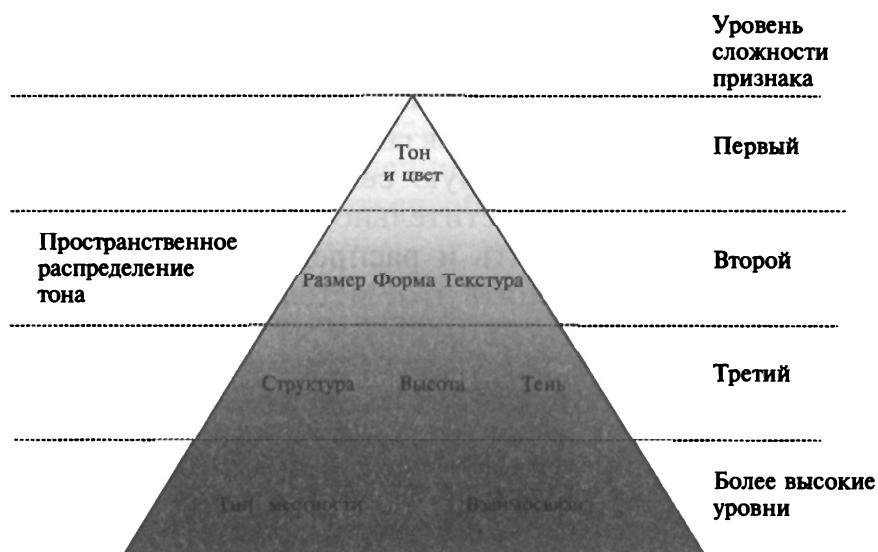


Рис. 5.1. Порядок использования дешифровочных признаков [49]

Тип местности является описательной характеристикой территории, в том числе ее топографии, почвенного или растительного покрова и т. д.

Порядок использования дешифровочных признаков в зависимости от их уровня сложности показан на рис. 5.1

5.4. Методы дешифрирования

Дешифрирование — это специальная процедура, позволяющая связать географические структуры на земной поверхности с их изображением на снимке. Согласно Кэмбелу [10], можно выделить пять различных методов дешифрирования.

Полевые исследования

Часто снимок оказывается слишком сложным для анализа, и специалист по дешифрированию, несмотря на свои знания и опыт, не в состоянии установить взаимосвязь между объектами на земной поверхности и снимком. В этом случае для точной идентификации объектов необходимо провести полевые исследования, которые, в действительности, являются важной составной частью любой задачи дешифрирования.

Дешифрирование по прямым признакам

Этот метод дешифрирования сводится к применению знаний, опыта и аналитических способностей специалиста к распознаванию различных структур на снимке и определению их принадлежности к тому или иному классу объектов. По существу, этот процесс заключается в качественном и субъективном анализе снимка на основе различных дешифровочных признаков. Поскольку этот метод дешифрирования зависит от человеческой интуиции, анализ снимка должен проводиться методично и очень тщательно.

Дешифрирование по косвенным признакам

В этом случае дешифрирование снимка выполняется на основе информации о наличии или отсутствии связанных с объектом косвенных признаков. Так, границы почв напрямую связаны с такими факторами почвообразования, как рельеф и растительность. Поэтому дешифрирование последних позволяет восстановить и распределение почвенного покрова. Для того чтобы успешно применять этот метод, необходимы глубокие знания взаимосвязей между используемыми косвенными признаками и самим объектом.

Дешифрирование, основанное на вероятностях

Свойства многих объектов и явлений тесно связаны с определенными характеристиками природной среды. В качестве примера можно привести сезонность вызревания зерновых культур. Эту дополнительную информацию очень часто удается сформулировать в виде вероятностного утверждения и использовать его для дешифрирования.

Дешифрирование с помощью измерений

Этот метод дешифрирования является наиболее строгим и точным, поскольку он основан на использовании количественных взаимосвязей между самим снимком и объектами на нем. В отличие от других способов дешифрирования в данном методе большая часть информации извлекается непосредственно из снимка. Примером этого способа может служить фотограмметрический анализ стереопар. Сначала проводится съемка исследуемой области с двух различных точек траектории полета летательного аппарата, после чего измеряется видимое на стереопаре смещение объекта. Поскольку геометрические параметры съемки известны, по этим измерениям можно восстановить топографическую модель рельефа. Таким образом, для получения точных данных о рельефе в данном методе используются только сами снимки и информация о геометрических параметрах съемки.

В зависимости от цели исследования можно использовать различные комбинации перечисленных методов. Например, при дешифрировании почв сначала может оказаться необходимым выделить с помощью прямых признаков различные типы растительного покрова, а затем использовать эти результаты в качестве косвенных признаков для определения границ различных видов почв.

5.5. Выделение зональностей

Еще одним методом дешифрирования сложных структур является выделение на снимке зональностей — участков однородного тона и текстуры изображения. При использовании этого метода оператор обращает внимание на общую структуру изображения, не стараясь распознать отдельные ландшафтные единицы.

Сначала на снимке выделяют области, однородные по тону, текстуре и другим признакам, затем эти зоны стараются отнести к одному из возможных классов объектов. Очевидно, что на этом шаге необходимо использовать данные полевых исследований и другую вспомогательную информацию. Если результаты дешифрирования оказываются неудовлетворительными, можно попытаться объединить или разделить выделенные области.

Выделение зон — мощный инструмент дешифрирования, который, однако, следует применять с осторожностью. Выделенные зоны могут не точно соответствовать изучаемым классам объектов. Например, тон и структура одной области могут определяться геологическим строением и топографией, а схожие характеристики другой области — растительным покровом.

5.6. Реестр результатов дешифрирования

Реестр результатов дешифрирования — это способ собрать воедино всю имеющуюся информацию. Такие реестры выполняют двойную функцию, являясь одновременно:

1. Средством обучения молодых специалистов методам дешифрирования сложных снимков или тематического дешифрирования в новой области.
2. Способом документирования информации и примеров дешифрирования, относящихся к определенной тематической области.

По существу, реестр результатов дешифрирования — это набор справочных материалов, с помощью которых можно быстро и точно идентифицировать объекты на снимках. Обычно реестр состоит из двух частей: набора снимков или стереопар с примечаниями и графического или словесного описания. Реестры систематизируются так, чтобы в любой момент можно было легко найти нужный снимок, относящийся, например, к определенной дате, территории или объекту.

Реестр результатов дешифрирования — это еще и способ систематизации сведений о важнейших характеристиках объекта или явления. В то же время, следует подчеркнуть, что для использования реестров необходимы знания в тематической области. Сведения, содержащиеся в реестре, не могут заменить опыта специалиста, это всего лишь способ систематизации информации, который помогает ускорить процесс обучения дешифрированию.

Реестры результатов дешифрирования являются эффективным способом распространения опыта ведущих специалистов. Они помогают развивать практические навыки работы со снимками и позволяют получать четкое представление о самом процессе дешифрирования.

5.7. Оборудование, используемое для дешифрирования

Оборудование, которое используется для дешифрирования снимков, является относительно простым и, за исключением отдельных компонентов, недорогостоящим. В лаборатории дешифрирования должно быть достаточ-

но места для хранения снимков и работы с ними. Для дешифрирования требуется следующее оборудование.

Светостол с прозрачной поверхностью и подсветкой снизу для удобного просмотра пленок. Если используются пленки в рулонах, стол должен быть оснащен специальными держателями и валиками, так чтобы пленку можно было свободно проматывать от одного края стола к другому.

Специальные измерительные шкалы, мирры, которые используют при дешифрировании, имеют очень точную градуировку. Точность обычных линеек, которые встречаются в быту, совершенно недостаточна для целей дешифрирования.

Стереоскопы — приборы, предназначенные для стереоскопического просмотра аэрофотоснимков. Наиболее простым из этих устройств является *карманный стереоскоп*. Благодаря своим малым размерам и небольшой стоимости карманный стереоскоп стал одним из самых популярных приборов, применяемых для визуального дешифрирования.

Увеличители — устройства, предназначенные для более подробного изучения снимков. Коэффициенты увеличения при анализе изображений выбирают в зависимости от личных предпочтений и исследовательской задачи.

Денситометр — прибор, принцип действия которого основан на изменении яркости светового луча при его прохождении через пленку. С помощью денситометров измеряют плотность снимков — количественную характеристику тона изображения.

Параллаксометр — устройство, которое используется вместе со стереоскопом. С его помощью можно оценить топографическую высоту объектов, представленных на стереопаре. Параллаксометр снабжен двумя стеклянными пластинами, каждая из которых располагается под одной из линз стереоскопа. На каждой пластине нанесена небольшая черная точка. Одна пластина остается неподвижной, а вторую перемещают параллельно шкале параллаксометра до тех пор, пока две точки не совместятся. Измеренная величина перемещения в этом положении используется для расчета высоты точки рельефа.

Увеличивающий трансфероскоп — прибор, выпускаемый корпорацией «Бауш и Ломб» для визуального совмещения снимков. С его помощью можно точно совмещать карты и снимки разного масштаба. При этом оператор наблюдает оба изображения через бинокулярные линзы и может изменять увеличение и ориентацию одного из снимков. После совмещения снимков оператор может выделить необходимые детали на одном из них и перенести их на промежуточный слой, который затем печатывается на другом снимке.

5.8. Автоматизированные методы дешифрирования

Основные принципы дешифрирования были сначала разработаны для аэрофотоснимков, а затем адаптированы к задачам дистанционного зондирования с использованием космических снимков. В следующей главе описываются автоматизированные методы анализа цифровых данных, которые стали широко применяться с появлением мощных компьютеров.