

КОСМИЧЕСКИЕ СНИМКИ

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.

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,

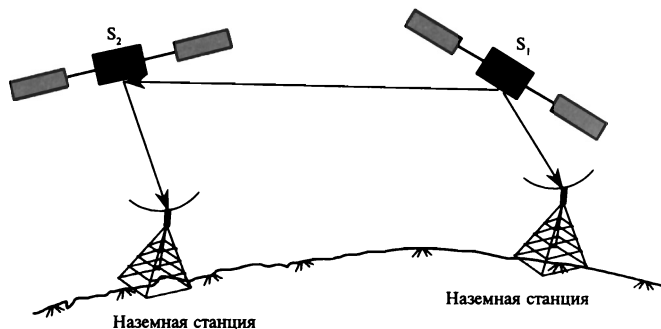


Рис. 4.1. Передача данных ДЗ на Землю

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.

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-

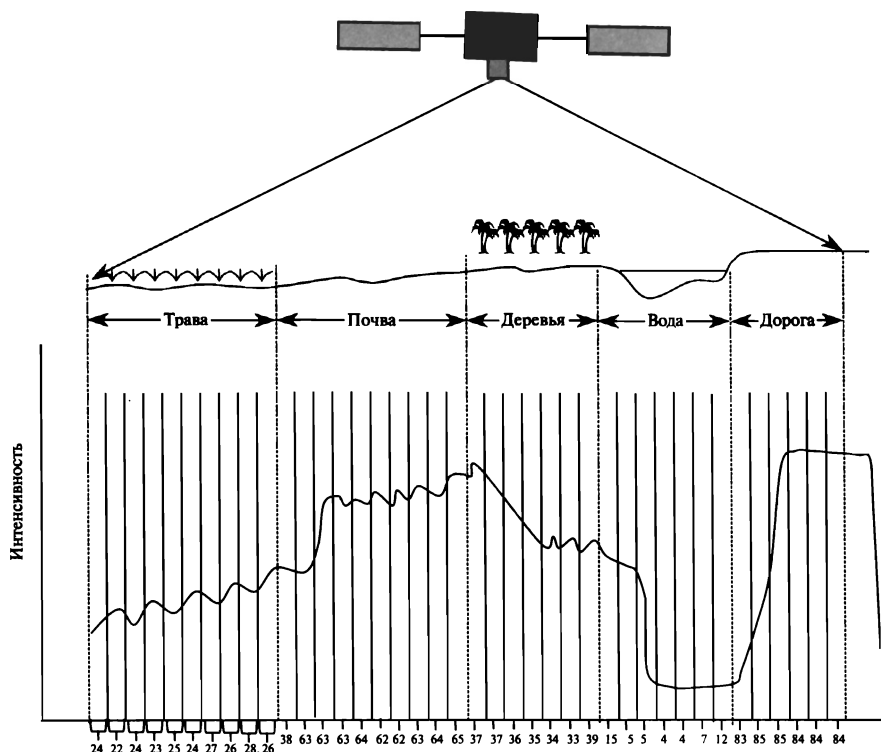


Рис. 4.2. Схематическое представление преобразования исходных данных в значения пикселей

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 1111111 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 $2^6 + 0^5 + 0^4 + 2^3 + 0^2 + 2^1 + 2^0 = 64 + 0 + 0 + 8 + 0 + 2 + 1 = 75$.

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. Поряд 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

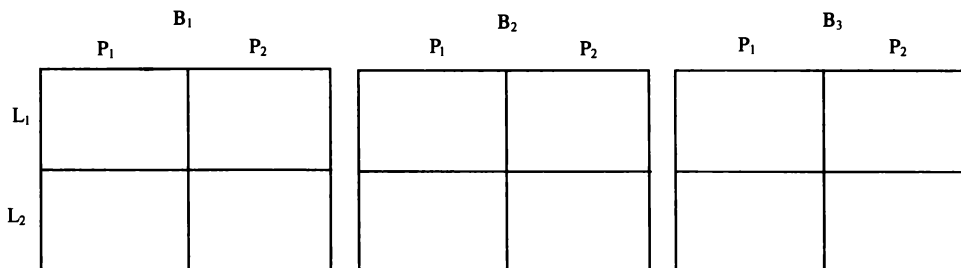


Рис. 4.3. Пример схемы записи данных

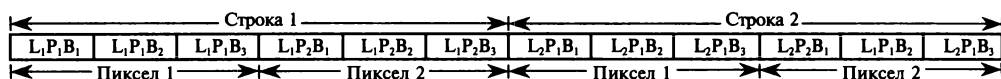


Рис. 4.4. Формат VIP (L — строка, P — пиксел, V — канал)

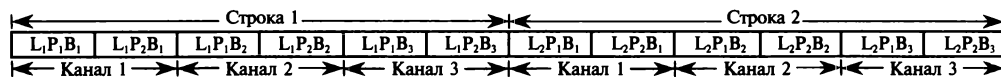


Рис. 4.5. Формат BIL (L — строка, P — пиксел, V — канал)

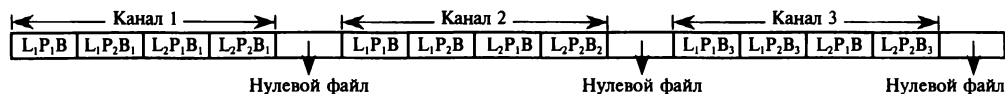


Рис. 4.6. Формат BSQ (L — строка, P — пиксел, V — канал)

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.

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 предоставлена 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]

Уро- вень	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 раstra 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 раstra с помощью повторной дискретизации исходного снимка.

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

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° 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.

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

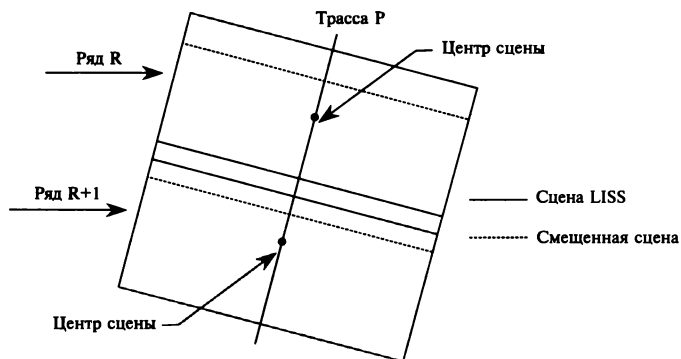


Рис. 4.7. Смещение сцены вдоль трассы спутника [62]

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 полнотрассовому 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

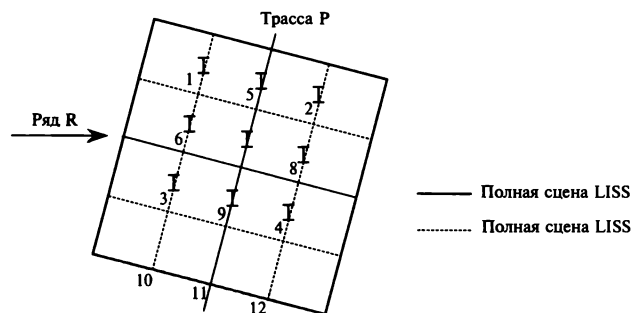


Рис. 4.8. Сцена LISS, разделенная на квадранты [62]

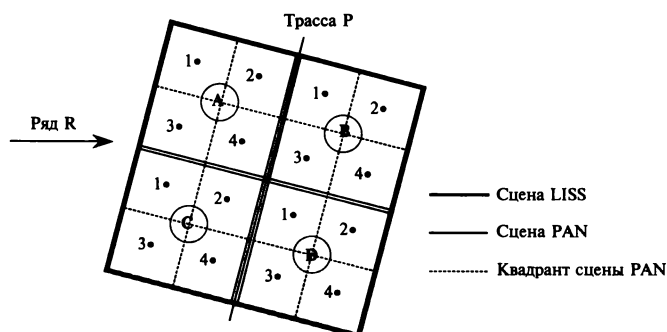


Рис. 4.9. Сцена PAN, разделенная на четыре квадранта [62]

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. Ортотрансформированные 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').

Ортотрансформированные снимки. Одним из наиболее важных видов специальной коммерческой продукции IRS-1C/1D являются ортотрансформированные снимки, которые создаются на основе стереопар, полученных с помощью сенсора PAN. При использовании данных LISS-3 для получения ортотрансформированных 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.

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 $x = 1, 2, 3, 4, 5$.