



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»

ИНСТИТУТ ГЕОДЕЗИИ И МЕНЕДЖМЕНТА



КАФЕДРА КАРТОГРАФИИ И  
ГЕОИНФОРМАТИКИ



**ФОНД КОСМИЧЕСКИХ  
СНИМКОВ**

Войди в мир новых технологий!

## 3. КОСМИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

### ОСОБЕННОСТИ СЪЕМКИ ИЗ КОСМОСА

**Космическая съемка -съемка с высоты более 150 КМ**

**В начале 21 века на орбите одновременно работало более 50 космических аппаратов, выполнявших съемку Земли**

- **Искусственные спутники Земли**
- **Малые космические аппараты**
- **Пилотируемые космические корабли и орбитальные станции**
  - **1961 г – Восток-2**
  - **1976 г – Союз 22**

**С точки зрения космических съемок земной поверхности важны следующие параметры орбит:**

**1. Форма орбиты**

**2. Наклонение**

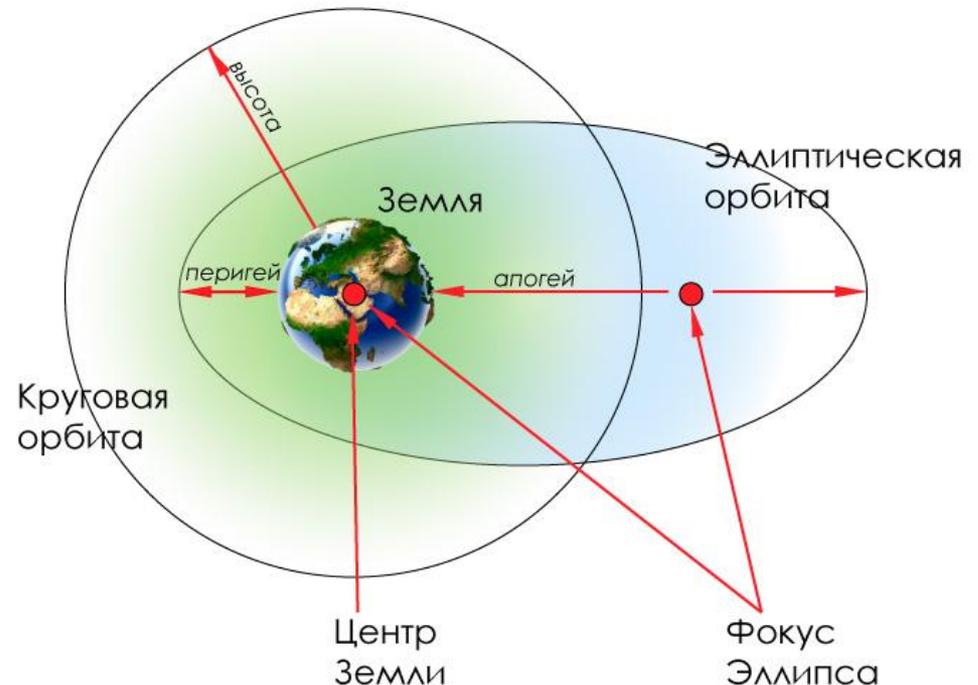
**3. Высота орбиты**

**4. Положение плоскости орбиты по отношению к Солнцу**

## ОРБИТЫ СПУТНИКОВ

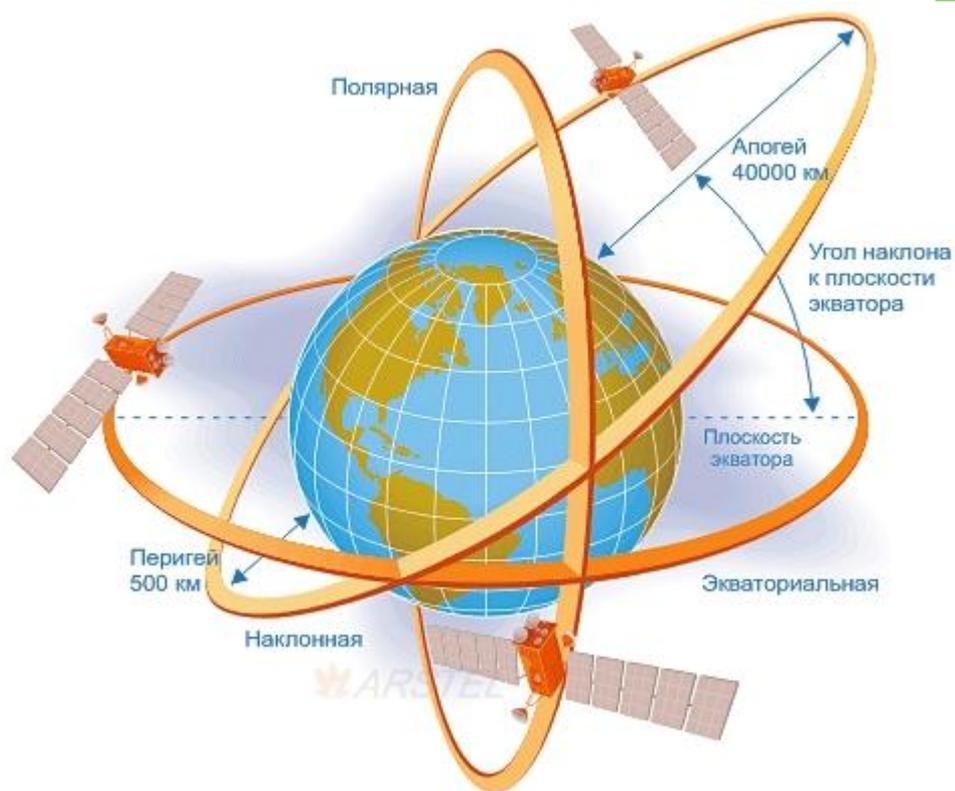
**Форма орбиты** определяет постоянство высоты съемки на разных участках орбиты:

- **круговая** (высоты перигея и апогея одинаковы и одинакова высота съемки Земли, а для одной и той же аппаратуры — одинаковы охват, масштаб и разрешение снимков)
- **эллиптическая**



## Наклонение определяется углом между плоскостью орбиты и плоскостью экватора:

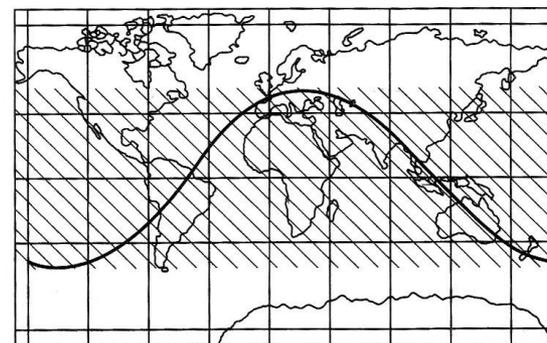
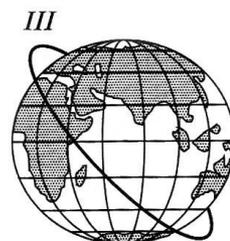
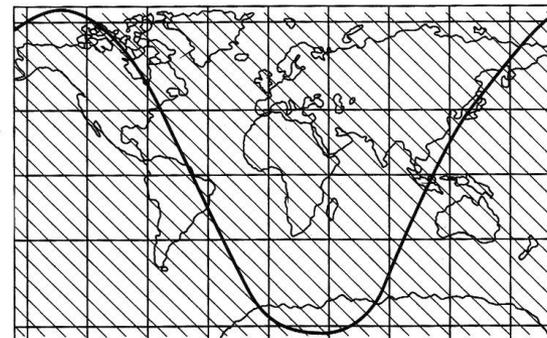
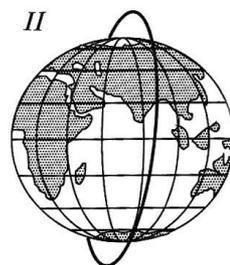
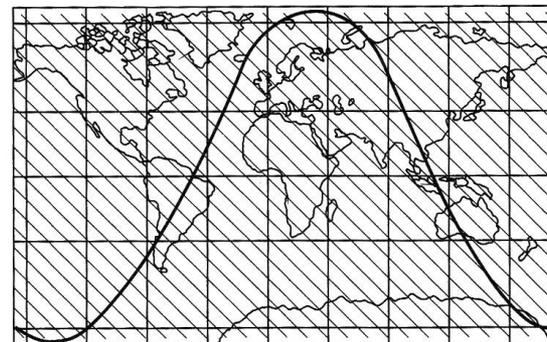
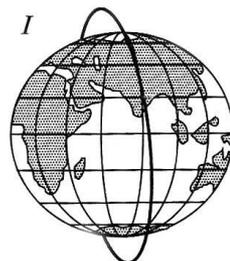
- экваториальные орбиты ( $i \approx 0^\circ$ )
- полярные орбиты ( $i \approx 90^\circ$ )
- наклонные орбиты:
  - прямые ( $0^\circ < i < 90^\circ$ )
  - обратные ( $90^\circ < i < 180^\circ$ )



Наклонение орбиты определяет широтный сферический пояс, охватываемый съемкой

Крупногабаритные тяжелые пилотируемые корабли и орбитальные станции функционируют на прямых орбитах (обычно с наклоном 30 и 52°), Сравнительно небольшие метеорологические и ресурсные спутники запускают на полярные орбиты.

Широтные пояса  
охвата съемкой при  
разном наклонении:  
I — прямая  
субполярная орбита  
(метеорологические  
спутники);  
II — обратная  
субполярная орбита  
(ресурсные  
спутники); III —  
прямая наклонная  
орбита (космические  
пилотируемые  
корабли,  
орбитальные  
станции)



- Часто используемые для съемки Земли высоты орбит:\
- **150 - 500 км** (орбиты пилотируемых кораблей, орбитальных станций, спутников фотосъемки с коротким временем функционирования);
  - **500—2000 км** (орбиты ресурсных 600 и 900 км и метеорологических спутников с электронной аппаратурой 900—1400 км)
  - **36 000 км.** (орбиты геостационарных спутников; угловая скорость движения спутника на высоте 36 000 км равна угловой скорости вращения Земли, спутник движется синхронно с подспутниковой точкой земной поверхности).

**Геостационарный спутник** на экваториальной орбите, как бы зависая над определенным районом Земли, обеспечивает его постоянное наблюдение – для метеонаблюдений обеспечения связи.

При высоте менее 100 км спутник падает вниз. По мере увеличения высоты увеличивается время активного существования спутников, охват съемкой, но при этом уменьшается разрешение снимков.



**Период обращения** — времени оборота спутника вокруг Земли.

Для околоземной круговой орбиты период обращения спутника  **$T_{об}$**  (мин) зависит от ее высоты  **$H$  (км)** и численно равен

$$T_{об} = 84,4 + \frac{H}{50}.$$

**Число витков  $N$** , опоясывающих Землю, за сутки составит

$$N = \frac{24 \cdot 60}{T_{об}};$$

а **угловое межвитковое расстояние  $N^\circ$**  будет  $N^\circ = \frac{360^\circ}{N}.$

Спутник на высоте 280 км совершает вокруг Земли один оборот за 90 мин и делает 16 витков за сутки при межвитковом расстоянии  $22^\circ 5'$ , что на экваторе соответствует 2 500 км.

## Положение плоскости орбиты по отношению к Солнцу (солнечно-синхронные)

**Солнечно-синхронные** орбиты - при съемке с которых солнечная освещенность земной поверхности (высота Солнца) остается практически неизменной достаточно продолжительное время (почти в течение сезона). Поскольку плоскость любой орбиты под влиянием несферичности Земли немного разворачивается (прецессирует), то оказывается возможным, подбирая определенное соотношение наклона и высоты орбиты, добиться, чтобы величина прецессии была равной суточному повороту Земли вокруг Солнца, т. е. около  $1^\circ$  в сутки.

Среди околоземных орбит удастся создать лишь несколько солнечно-синхронных, наклонение которых всегда обратное.

Например, при высоте орбиты 1000 км наклонение должно быть  $99^\circ$ .

Задачи:

- периодическая сезонная съемка для картографирования;
- обзорная съемка для мониторинга.

## Орбитальные съемки поверхности Земли.

По сравнению с самолетом спутник движется значительно быстрее, что требует коротких выдержек при съемке.

Летающий спутник не испытывает вибраций и резких колебаний, поэтому космические снимки удается получать с более высокой разрешающей способностью, чем аэроснимки.

При планировании космической съемки в соответствии с ее назначением выбирают:

- оптимальную высоту полета спутника,
- наклонение орбиты
- время старта.

-

Существенное значение имеет и географическое положение космодрома, с которого производится запуск спутника.

В настоящее время космодромами располагают многие страны

## Основные космодромы, используемые для запусков спутников-съемщиков

Космодром	Страна	Географические координаты	
		широта	долгота
Плесецк	Россия	63° с.ш.	41° в.д.
Байконур (Тюратам)	Казахстан	46° с.ш.	63° в.д.
Канаверал	США	28° с.ш.	81° з.д.
Ванденберг	США	35° с.ш.	121° з.д.
Куру	Французская Гвиана	5° с.ш.	53° з.д.
Шрихарикота	Индия	14° с.ш.	80° в.д.
Танегасима	Япония	30° с.ш.	131° в.д.
Цзюцюань (Шуанченцзы)	Китай	41° с.ш.	101° в.д.
Тайюань	Китай	39° с.ш.	112° в.д.
Сиган	Китай	28° с.ш.	102° в.д.



## ИСТОРИЯ СЪЕМОК ИЗ КОСМОСА

Первая фотография Земли из космоса

24 октября 1946 г.

Запущенная в США с полигона White Sands автоматическая ракета V-2 вышла на суборбитальную траекторию с апогеем 105 км и сделала серию снимков Земли. Съёмка производилась 35-мм кинокамерой на чёрно-белую киноплёнку.

Первая спутниковая фотография Земли

14 августа 1959 г. американским спутником Explorer 6.

Первые фотографии Луны - советским спутником Луна-3

6 октября 1959 г (во время выполнения фотографирования обратной стороны Луны).

Ручную фото- и киносъёмку Земли из космоса, впервые произвел советский космонавт Герман

Титов (Восток-2, 6 августа 1961)

## 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.

**Трассой** называется наземный след витка орбиты спутника.

Количество трасс совпадает с количеством витков, их нумерация различается.

Первый номер присвоен витку, который проходит через заданную точку.

Второй виток сдвинут относительно первого на заданное количество градусов, к западу и т. д.

Трассы нумеруются в противоположном направлении, т. е. 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

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 6 000 строк, а центральная строка сцены располагается на экваторе.

Центр второй сцены сдвинут к северу от экватора на 5703 строки, центр третьей — еще на 5 703 строки и т. д., вплоть до  $81^\circ$  с.ш.

Линии, соединяющие центры сцен на различных трассах, называются рядами. Ряды параллельны экватору. Так, ряд №1 приблизительно соответствует  $81^\circ$  с.ш., ряд №41 —  $40^\circ$  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

По характеру покрытия земной поверхности космическими снимками:

1. Маршрутная съемка
2. Прицельная съемка
3. Глобальная съемка
4. Одиночное (выборочное) фотографирование

## Маршрутная съемка земной поверхности

производится вдоль трассы полета спутника.

Ширина полосы съемки  $\Theta$  зависит от высоты полета  $H$  и угла обзора  $2\beta$  съемочной системы:

$$\Theta = 2 H \operatorname{tg} \beta$$

Для узкоугольных съемочных систем высокого разрешения

- ( $2\beta = 10^\circ$ ) ширина полосы съемки составляет  $0,2 H$ ,
- для широкоугольных, обзорных ( $2\beta = 100^\circ$ ) —  $2,5H$ .

Для увеличения полосы обзора практикуют «веерную» съемку — поперек направления полета двумя и или даже тремя съемочными системами высокого разрешения.

**Прицельная (выборочная)** съемка предназначена для получения снимков специально заданных участков земной поверхности в стороне от трассы.

Для этого направление съемки отклоняется от надира на расчетный угол.

***Программно-прицельная съемка*** — основной вид космической съемки для получения снимков сверхвысокого разрешения



**Глобальную съемку** производят с геостационарных и полярноорбитальных спутников.

4-5 геостационарных спутников на экваториальной орбите обеспечивают практически непрерывное получение мелкомасштабных обзорных снимков всей Земли (космическое патрулирование) за исключением полярных шапок.

Более детальная глобальная съемка производится с полярноорбитальных спутников.

На периодической (геосинхронной) орбите, спутник будет совершать за сутки целое число витков, т.е. каждый день будет пролетать над одними и теми же точками трассы Земли.

Для околоземных орбит межвитковое расстояние на экваторе, как уже отмечалось, составляет 2 — 3 тыс. км

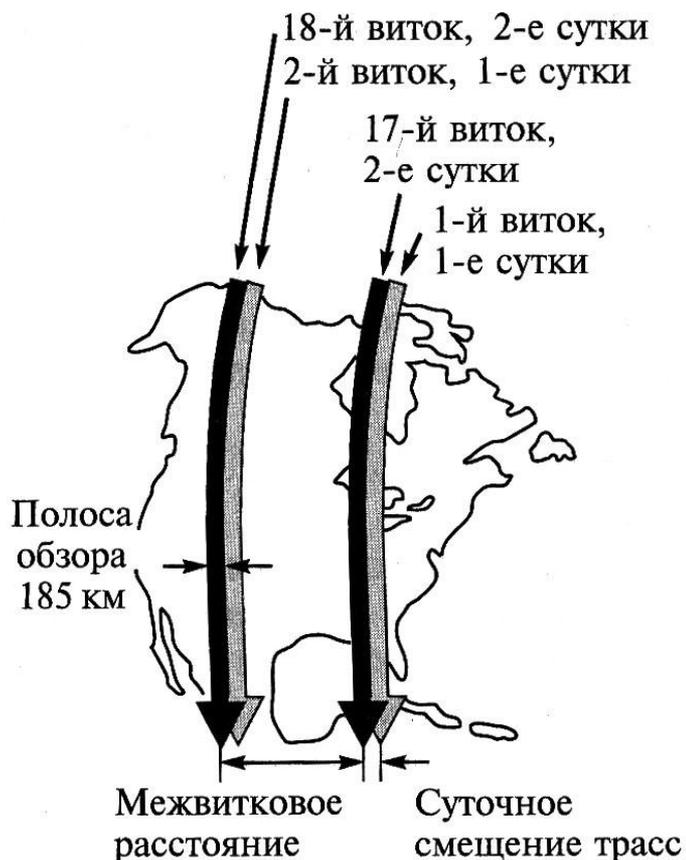
При съемке с периодических орбит системами высокого разрешения и соответственно малого охвата значительная площадь между витками не будет покрыта снимками, исключая околополярные участки пересечения трасс.

Для съемки без поперечного разрыва орбита спутника должна обеспечить суточное смещение трассы, период обращения рассчитывается таким образом, чтобы спутник совершал за сутки не совсем точное целое число оборотов. Тогда пересечение экватора спутником через сутки будет происходить с небольшим опозданием или опережением; за это время Земля поворачивается на некоторый угол, обеспечивающий определенное смещение трассы.

Эта орбита называется **квазипериодической** (квазигеосинхронной).

Величина суточного смещения трассы устанавливается такой, чтобы при принятом угле обзора съемочной системы маршрутные полосы съемки (которые могут быть не последовательными) примыкали друг к другу или даже перекрывались.

На экваторе перекрытие между маршрутами будет минимальным, а к полюсам Земли оно увеличивается!



Полосы съемки со спутника  
Landsat

Орбита околоземного спутника, предназначенного для многократной глобальной съемки высокого разрешения, должна быть круговой -полярной квазипериодической и солнечно-синхронной.

Например, на такой орбите — с наклоном  $98^\circ$  и высотой 705 км, периодом обращения 99 минут, межвитковым расстоянием 2760 км и перекрытием 8 % между маршрутами на экваторе — работали спутники Landsat-4, 5, 7.

Для съемки всей поверхности Земли спутнику требовалось совершить 233 оборота: через 16

дней он начинал повторную

По применяемой технологии с учетом спектрального диапазона:

- 1.Сканерная съемка в видимом и ближнем ИК-диапазоне
- 2.Тепловая ИК-съемка
- 3.Микроволновая съемка
- 4.Радиометрическая съемка
- 5.Радиолокационная съемка



# Разновидности космических съемок

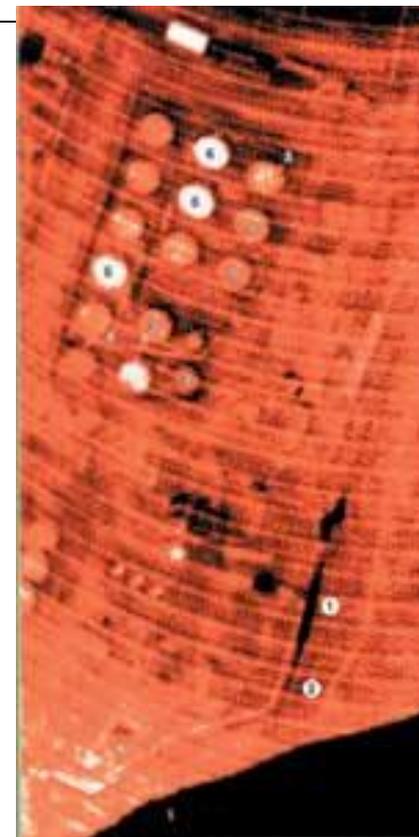
Различные по назначению спутники с разнообразными **съемочными системами:**

- оптико-электронные многозональные стереосканеры;
- радиолокаторы с синтезированной длиной антенны.

По **технологии съемки** и с учетом используемого спектрального диапазона различают:

- фотографическую (черно-белую, цветную, спектральнозональную);
- сканерную (оптико-механического и оптико-электронного сканирования)
- съемки в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне,
- тепловую инфракрасную съемку,
- микроволновую, радиометрическую и радиолокационную съемки.

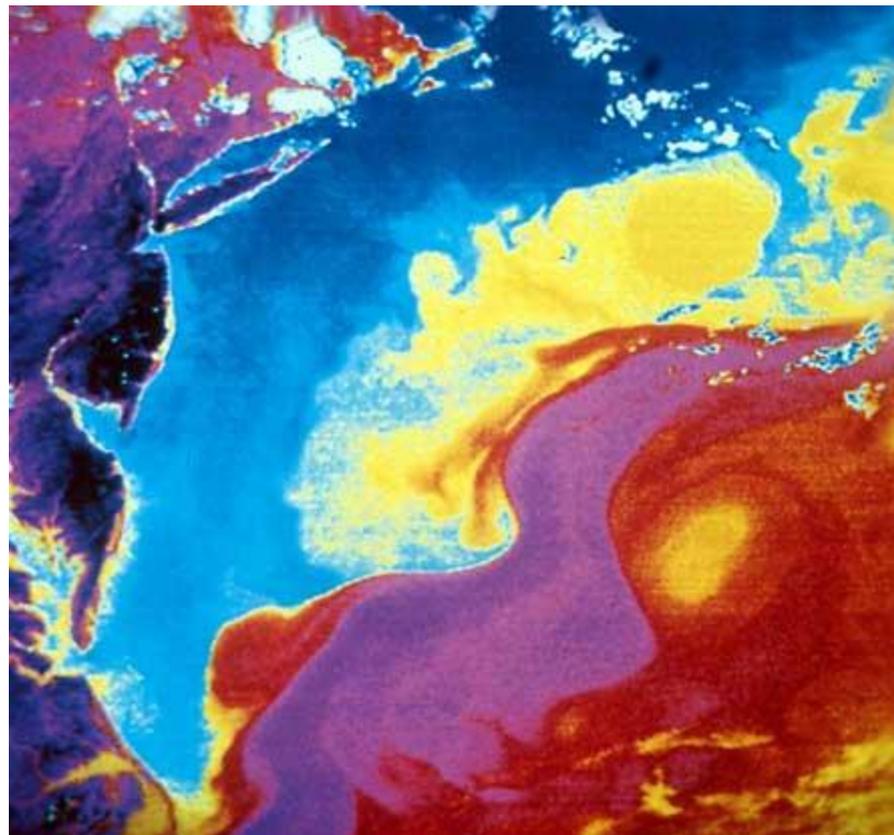
При наиболее распространенных **пассивных** съемках регистрируется естественное отраженное солнечное или собственное излучение Земли, при **активных** — отраженное земной поверхностью искусственное излучение,



Полетанное ой нороистеля. нефтебазы, справа – ночной тепловой снимок той же территории.

Помимо четкого различия пустых (светлые кружки) и наполненных емкостей, тепловой снимок позволяет обнаружить утечки из резервуара (3) и трубопровода (1,2).

В современном аэрокосмическом зондировании. -  
**Многозональная съемка** выполняется одновременно в  
3 - 7 узких спектральных зонах видимого и  
инфракрасного диапазона и иногда сочетается со  
съемкой в панхроматической зоне для получения  
снимков наиболее высокого пространственного  
разрешения.



ИНФРАКРАСНАЯ АЭРОТЕРМОГРАФИЯ из космоса позволяет различить области локальных течений Гольфстрима.

-**Сканеры** с ПЗС-матрицами позволяют увеличить число спектральных зон до нескольких сотен (гиперспектральная съемка).

При **радиолокационной съемке** многозональный принцип реализуется использованием нескольких длин радиоволн (частот):

-СВЧ-диапазона (многочастотная съемка)

-разной поляризации зондирующего излучения (поляризационная съемка).



Детальные стереоскопические снимки, длиннофокусными оптико-электронными сканерами, пригодны для метрической характеристики рельефа Земли, представляемой в виде изолинейных карт или цифровых моделей рельефа.

-Выполняемая стереоскопическая съемка имеет несколько вариантов:

-**одновитковая (однопроходная)** съемка-перекрывающиеся с/п получают при разных направлениях оптической оси  
(*конвергентная съемка «вперед—назад»*);

- **двухвитковая** стереосъемка с поперечным перекрытием снимков с соседних витков при отклонении оптической оси в сторону

К конвергентной съемке относится и

**многокурсовая** (веерная) съемка

(многоугловой сканер ведет съемку вдоль маршрута «вперед—назад», получая одновременно несколько перспективных снимков с различными углами наклона).

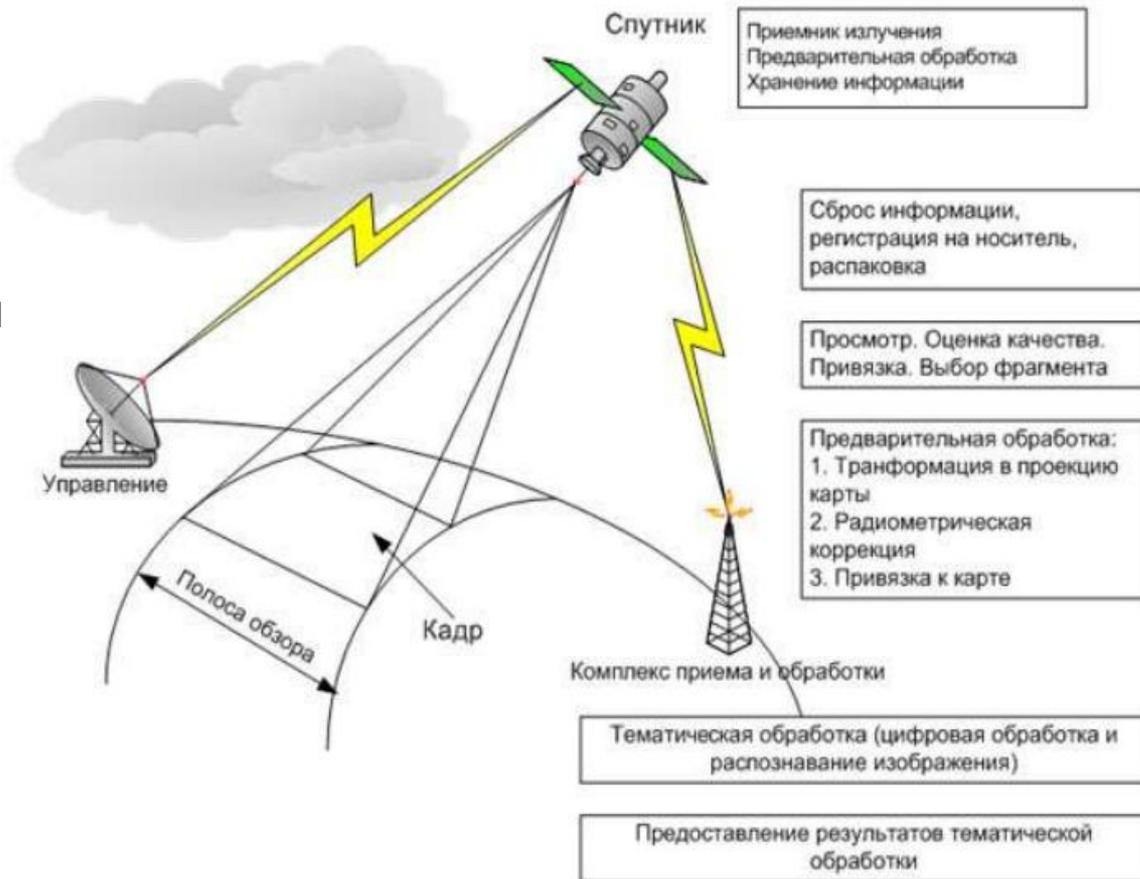
Для удовлетворения потребностей в снимках разного охвата и разрешения на спутниках устанавливают несколько съемочных систем (две, три), которые одновременно выполняют съемку, различающуюся по этим параметрам в 3 — 5 раз и более.

На спутнике Ресурс-О работал сканер МСУ-СК для обзорной съемки с разрешением 170 м и сканер МСУ-Э с разрешением 45 м.

# Прием спутниковой информации

Три способа передачи данных:

1. Прямая передача данных на наземную станцию в зоне прямой видимости спутника;
2. Данные сохраняются на спутнике, а затем передаются с некоторой задержкой по времени на Землю;
3. Данные передаются с одного спутника на другой, пока в зоне прямой видимости не окажется наземная станция (система геостационарных спутников связи TDRSS (Tracking and Data Relay Satellite System))



# Прием спутниковой информации

Станции для приема информации со спутников на Земле содержат антенну с опорно-поворотным устройством (ОПУ), радиоприемное устройство и средства обработки, хранения и отображения информации.

Зеркальные антенны с параболическим рефлектором, наводятся ОПУ (в котором заложены орбитальные данные) на спутник по команде компьютера.

Для передачи сигналов с природоведческих спутников используются радиоволны дм и см диапазонов.

Размер приемной антенны определяется требованиями к коэффициенту качества, шириной полосы частот, необходимой для передачи информации со спутника.

Типичная земная станция HRPT для приема информации со спутника NOAA имеет 198 параболическую антенну диаметром от 1,2 до 1,5 м. В фокусе антенны установлен облучатель, сигнал с которого усиливается, а несущая частота сигнала преобразуется в более низкую.

# Прием спутниковой информации

Исходная информация, регистрируемая наземным приемным центром, представляет собой сигнал со спутника в виде битовой последовательности, содержащий как результаты съемки Земли, так и служебную информацию о движении и ориентации космического аппарата, режимах работы съемочной аппаратуры и др.

Выполняется обработка данных в результате которой устраняются систематические ошибки, геометрические искажения и влияние атмосферы. Данные преобразуются к стандартному цифровому формату и записываются на магнитную ленту или компакт-диск. 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).

# Прием спутниковой информации

Благодаря быстрой обработке КС относительно низкого разрешения предоставляются пользователям уже через несколько часов после выполнения съемки (для контроля за ледовой обстановкой во время арктической навигации). Съемка в инфракрасном диапазоне - используется для борьбы с лесными пожарами (для устранения пожара).

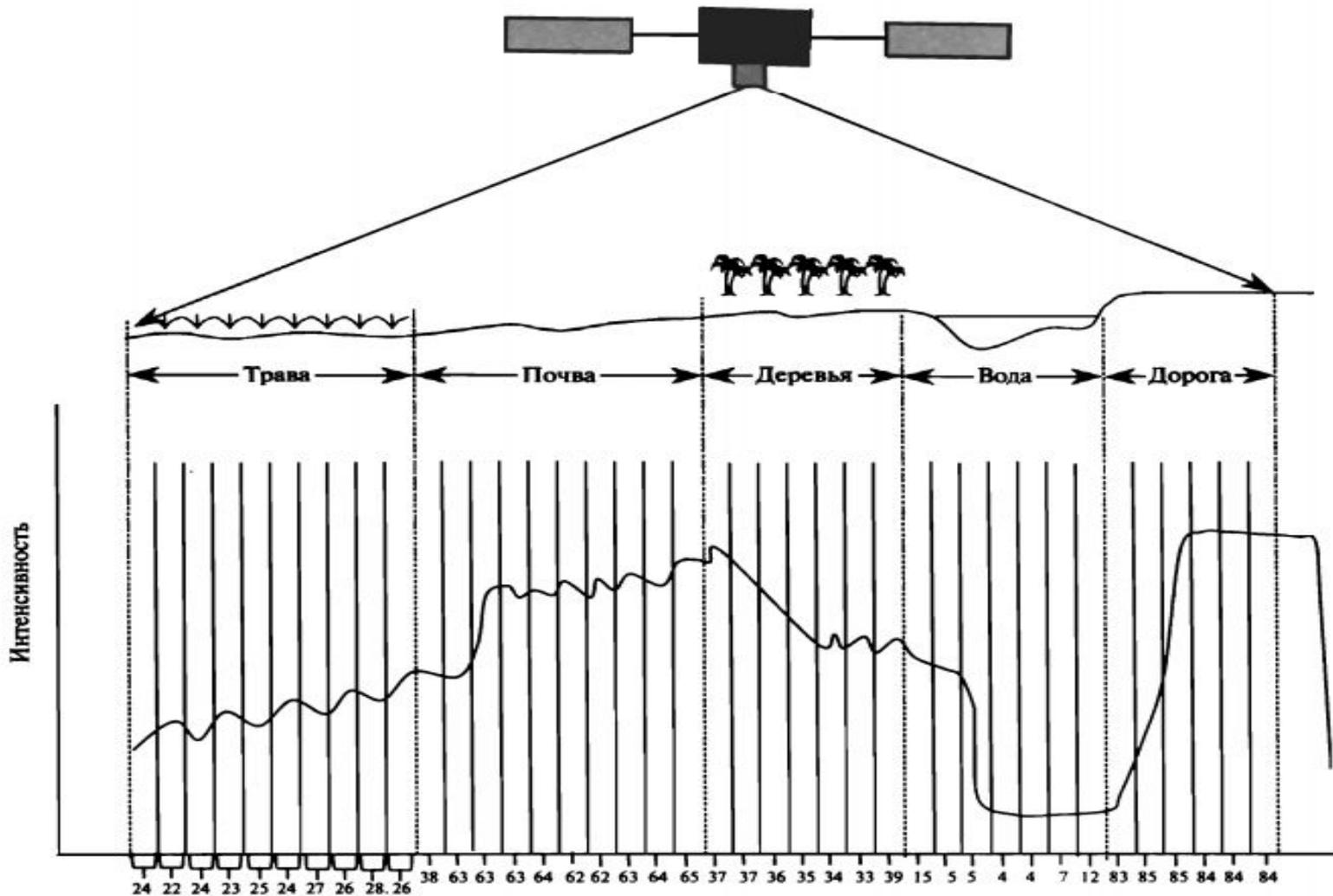
При коммерческом распространении снимков широко используются снимки очень низкого разрешения (quick look), применяемые для предварительного просмотра предлагаемых архивов на их соответствие определенной территории и отсутствие атмосферных помех. Пространственное и радиометрическое разрешение таких снимков невелико.

# 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.** Схематическое представление преобразования исходных данных в значения пикселей

Сигнал в пределах каждого интервала описывается только средним значением его интенсивности, поэтому вся информация о вариациях сигнала на этом интервале теряется.

**Величина интервала дискретизации** является одним из параметров, от которого напрямую зависит разрешающая способность сенсора.

Разрешение снимка, зависит от способа записи числовых значений. Для записи каждого числа используется ряд двоичных ячеек, которые называются битами.

Эта форма записи удобна для хранения данных на дисках и магнитных лентах, а также для последующего компьютерного анализа.

Набор таких данных называют значениями пикселей или значениями яркости.

Диапазон яркости зависит от количества бит, отведенного для записи чисел.

При 6-битовой форме записи максимум количество значений яркости равно 64, при 7-битовой — 128, 8-битовой — 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.

Т.е. радиометрическое разрешение цифрового снимка определяется количеством бит, используемых для записи.

# Форматы записи данных

Формат записи данных должен быть удобен для их считывания и анализа.

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

Выбор оптимального формата зависит от условий поставленных задач и от наличия определенного оборудования и программного обеспечения.

Для изучения всей сцена во всех спектральных диапазонах съемки, удобнее использовать форматы BSQ и BIL. Если анализируется небольшой участок с известным местоположением, то VIP.

Возможность считать данные, записанные в любом исходном формате, и преобразовать их в тот формат, который наиболее удобен для работы.

# Продукция

Продукция.

1. Стандартная (данные, прошедшие радиометрическую и геометрическую коррекцию);
2. Специальная (+дополнительная обработка).

Может быть представлена:

- в цифровом виде;
- в виде бумажных снимков.

## Уровни коррекции исходных данных

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:

- цифровом виде,
- 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;
- на компакт-диске.

## Радиометрическая коррекция

причины :

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

# Коррекция исходных данных

## Геометрическая коррекция 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 КА, 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

# Коррекция исходных данных

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.

