



**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПО ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВУ**

**Факультет городского кадастра**  
**Кафедра Аэрофотогеодезии**

**ЛЕКЦИЯ № 4**  
**ТЕМА: ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА**  
**КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ**

Разработал Левичев Олег Анатольевич  
кандидат военных наук, доцент

2019 год

## **Учебные вопросы**

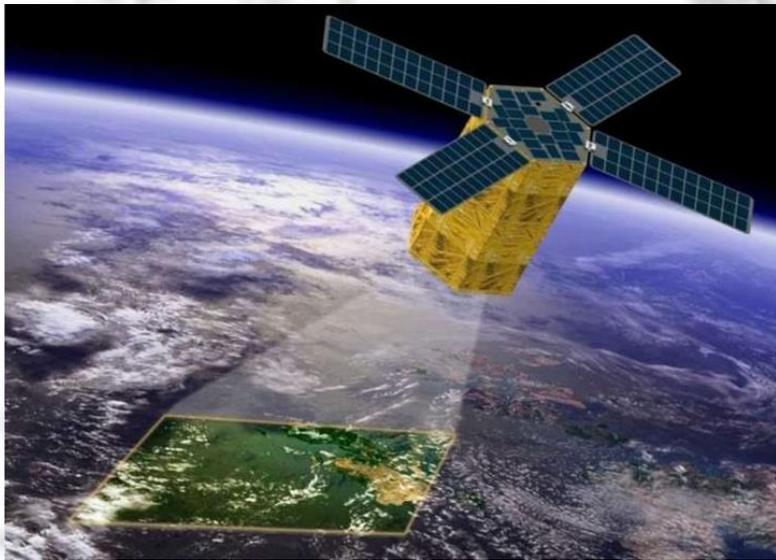
- 1. Технические средства дистанционного зондирования.**
- 2. Основные характеристики материалов дистанционного зондирования.**
- 3. Космические системы дистанционного зондирования.**

# Первый учебный вопрос

## Технические средства дистанционного зондирования.

### Понятие дистанционном зондировании

Под термином дистанционное зондирование понимается неконтактное изучение земной поверхности, воздушного пространства, земных недр, природных и техногенных процессов. Изучение происходит посредством измерения (регистрации) с некоторого расстояния отражённого или собственного излучения специальными съёмочными системами, последующей обработки и анализа получаемых данных.



Главным отличием дистанционного зондирования от наземных измерений, наблюдений и обследований является то, что для получения информации о пространственном положении и качественном составе изучаемых объектов земной поверхности используют аэро- и космические снимки, представляющие собой модель местности.



# Облик перспективной орбитальной группировки космических средств ДЗЗ на период до 2020 года

**КС природно-ресурсного назначения.**  
Высокодетальная съемка, картографич. филм

**КС метеорологического и океанографического наблюдения**  
КА «Арктика-М» №1

КА «Арктика-М» №2

Метеор-М №1 (2009), №2 (2012), №3 (2012)  
Метеор-МП №1 (2015), №2 (2018), №3 (2019)

Ресурс-ДК (2006)

12-часовая орбита глона «Молния»

Ресурс-П №1 (2011), №2 (2013)

КА «Арктика-Р» №1

ГСО

**Всенегодние РЛ-наблюдения.**

Электрон-Л №1 (2010), №2 (2011)  
Электрон-М №1 (2015)

Арктик-2М (2013)

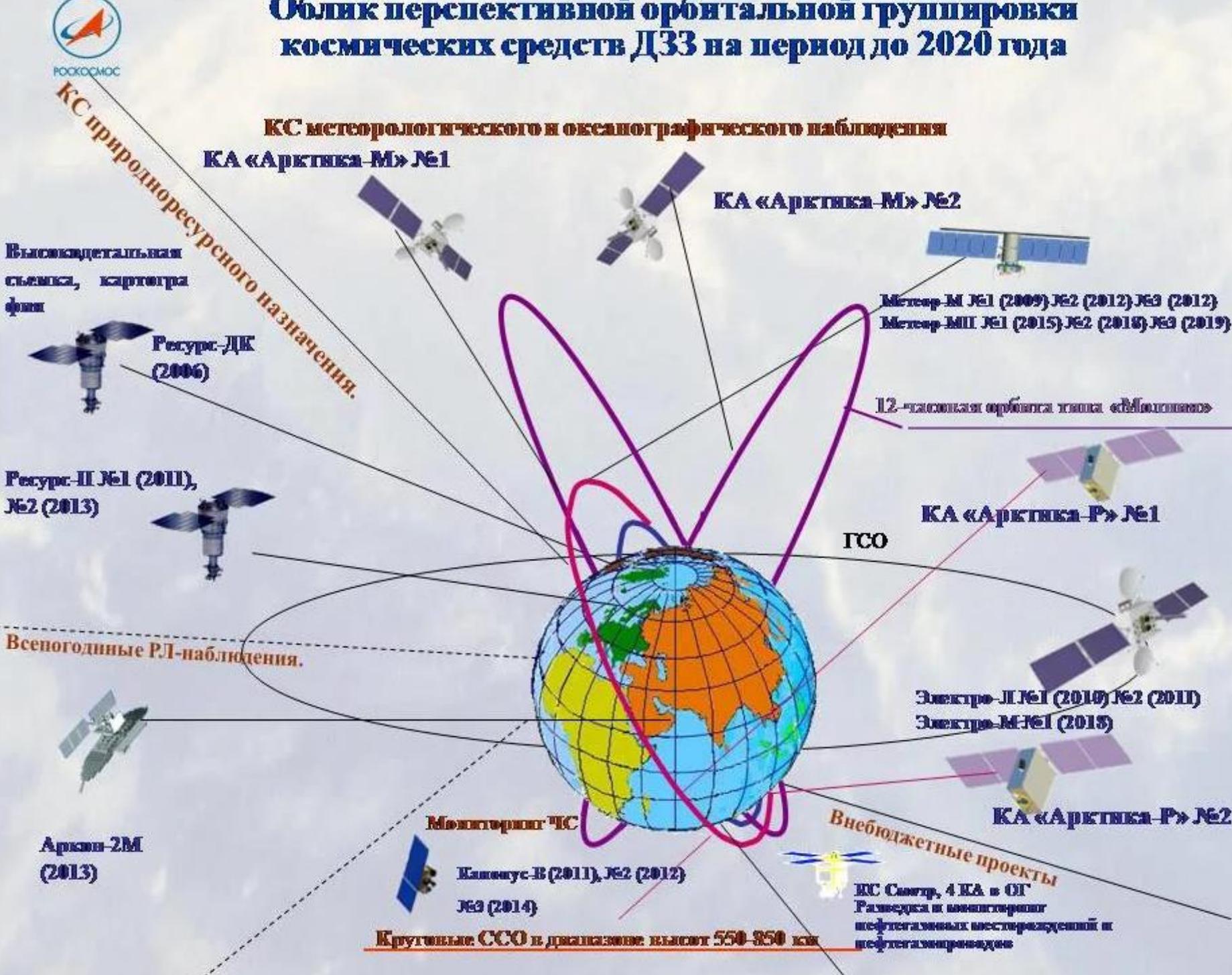
КА «Арктика-Р» №2

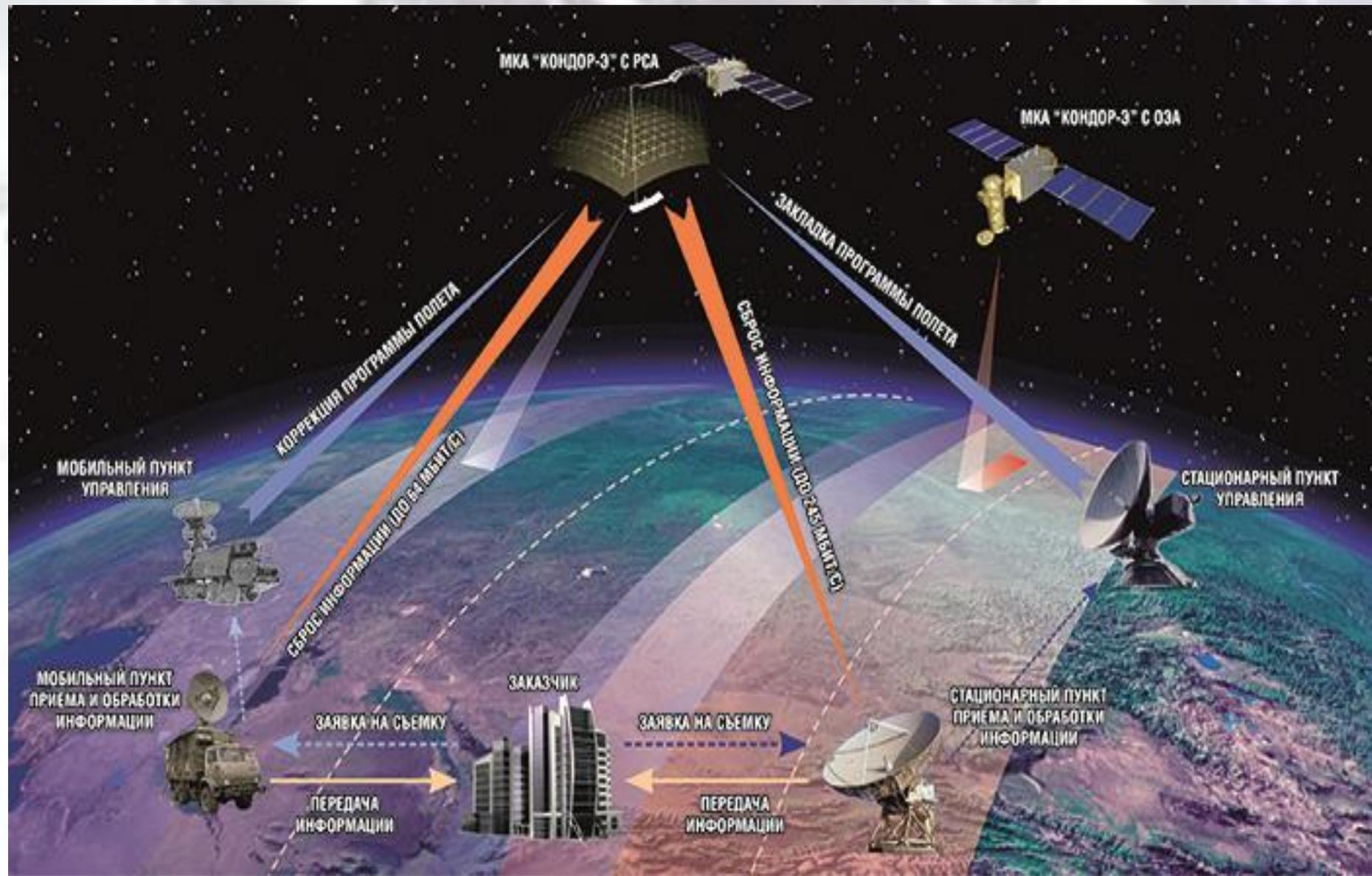
Мониторинг ЧС

**Внебюджетные проекты**  
КС Спутник, 4 КА в ОГ  
Разведка и мониторинг нефтегазовых месторождений и нефтегазопроводов

Канопус-В (2011), №2 (2012)  
№3 (2014)

**Круговые ССО в диапазоне высот 550-850 км**

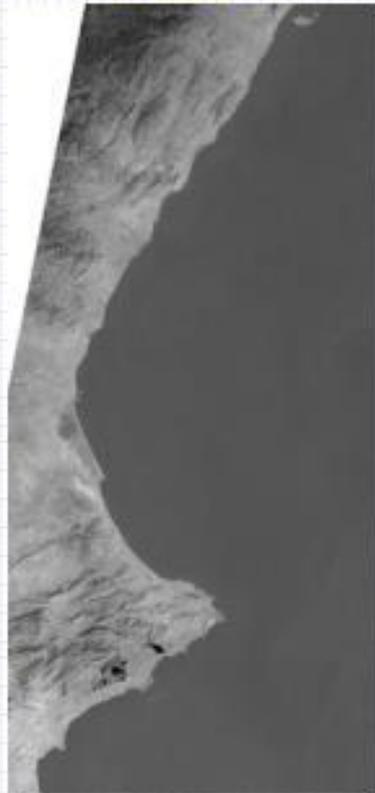




# Исходные данные дистанционного тепловизионного зондирования Земли



Тепловизионный снимок

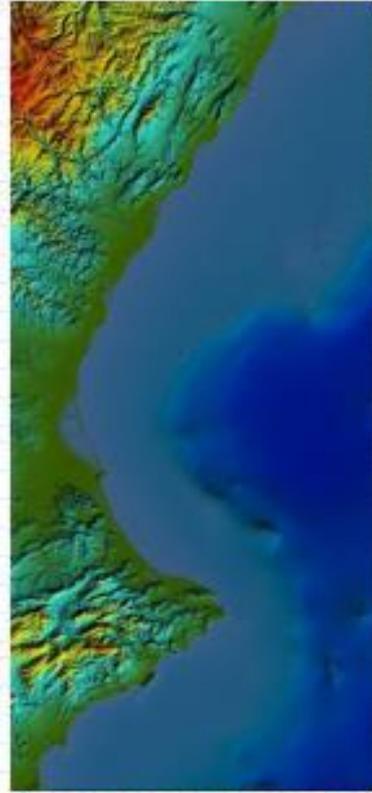


min Вт / м<sup>2</sup> ср мкм max

Снимок видимого диапазона



Карта рельефа местности и батиметрии



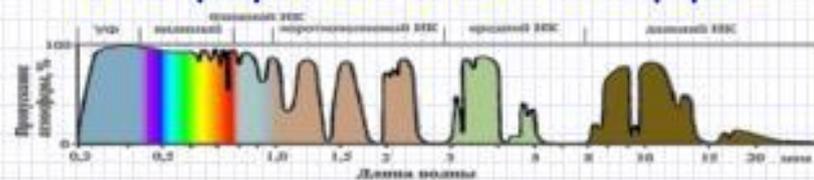
min max

Технология тепловизионной томографии геологической среды основана на обработке снимков в тепловом инфракрасном диапазоне 8-14 мкм. Комплексный анализ многоспектральных космических и авиационных данных по суше и морю выполняют с использованием ИК и видимого снимков, карт рельефа местности и батиметрии моря. В качестве топографической основы используют векторные и растровые электронные карты высокого разрешения.

## Оптический диапазон электромагнитных волн

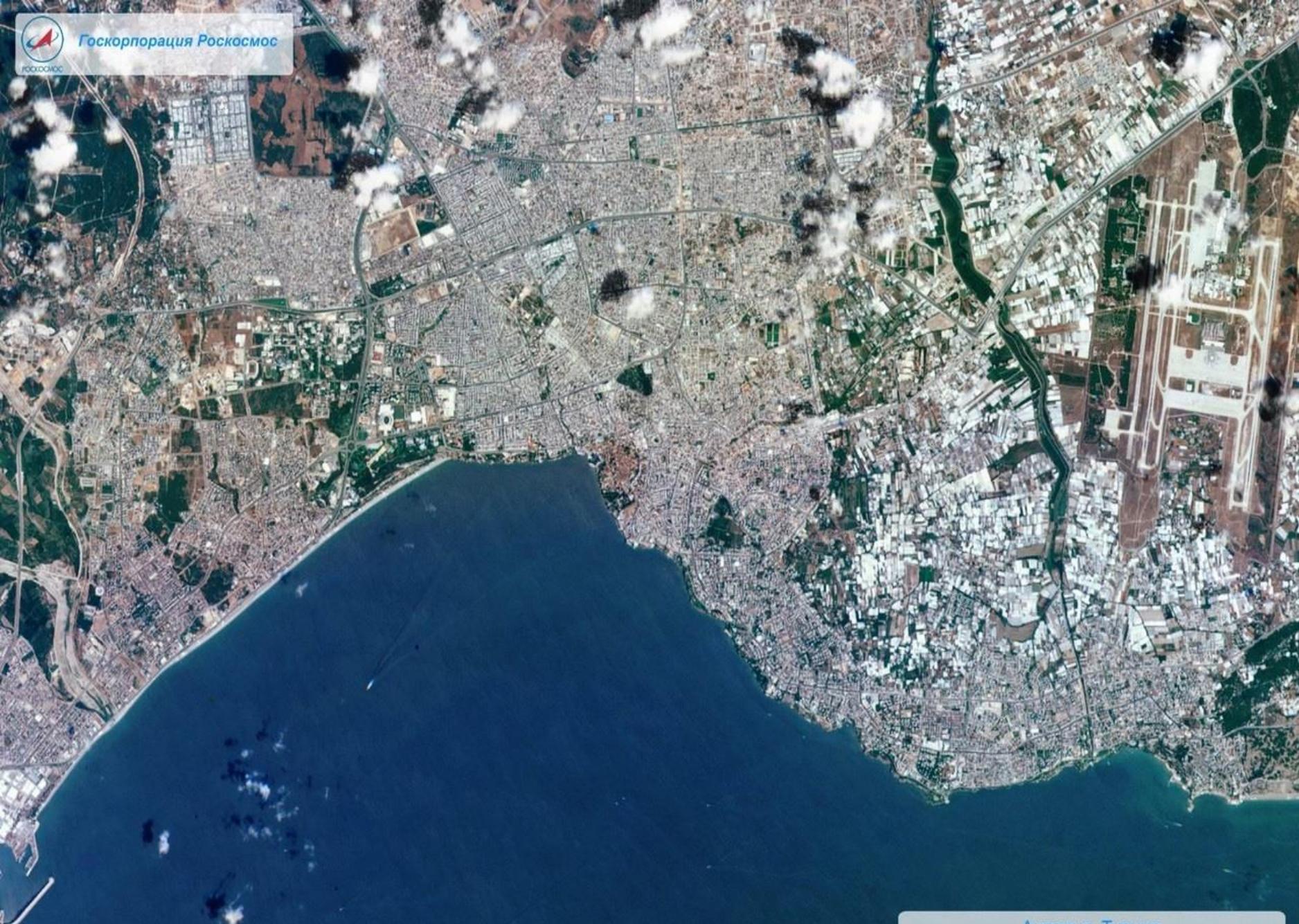


## Окна прозрачности земной атмосферы





Госкорпорация Роскосмос



Анталья, Турция.  
Съемка КА "Канопус-В-ИК" (первый снимок),  
аппаратура МСС  
27.07.2017 г. 12:09



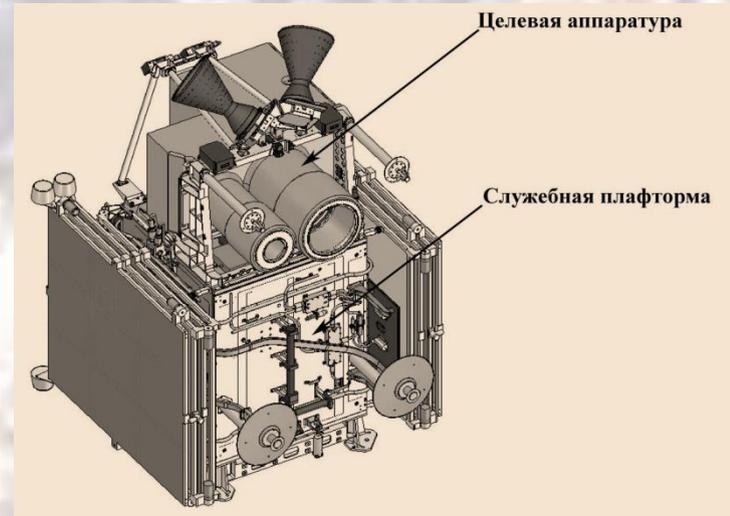
Информация принята и обработана Оператором КС ДЗЗ  
(НЦ ОМЗ АО "Российские космические системы")

© Все права защищены, Роскосмос, 2017



Космический снимок, являющийся результатом дистанционного зондирования исследуемой поверхности, представляет собой изображение объекта, построенное путем его проектирования из одной или нескольких точек пространства на ту или иную поверхность по заданному закону.

Задача обработки изображений сводится к установлению связи между координатами отдельных точек в системах местности и изображения. Технология установления и использования такой связи определяется техническими характеристиками съемочной аппаратуры, способом формирования изображения и параметрами орбиты космического аппарата. В связи с этим рассмотрим разновидности съемочных систем и некоторые геометрические особенности получаемых с их помощью изображений.



В зависимости от физического принципа формирования изображения съемочные системы делятся на фотографические, телевизионные, радиолокационные, лазерные, сканирующие, оптико-электронные и др., различающиеся способом формирования изображения, типом его развертки и видом поверхности проектирования.

## Фотографические съемочные системы

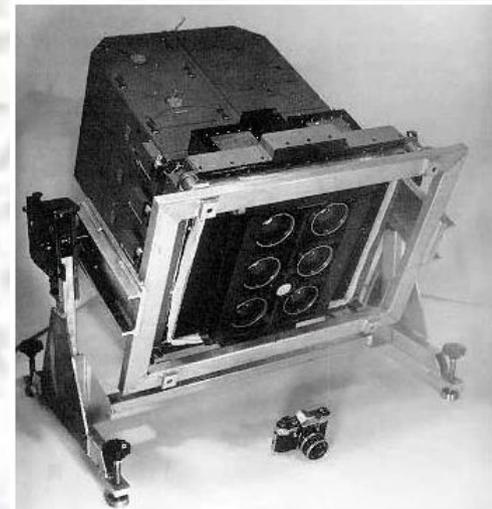


Фотоаппарат КАТЗ-140 (geogr.msu.ru)

Фотографирование земной поверхности началось практически одновременно с открытием фотографии. Фотографические съемочные системы формируют перекрывающиеся кадры изображений на фото-пленке, которая после экспонирования должна быть возвращена на Землю для фотохимической обработки в стационарных условиях.

К очевидным достоинствам фотографических съемочных систем относят высокие метрические и изобразительные свойства изображений, естественную для человека форму представления видеоинформации, возможность использования простых и хорошо отработанных способов и технических средств последующей фотограмметрической обработки материалов.

Принципиально важными недостатками фотографических систем является неоперативность, связанная с необходимостью доставки снимков на Землю.



Фотоустановка МКФ-6М (ист. geogr.msu.ru)

## Телевизионные съемочные системы

Телевизионные съемочные системы используют в качестве датчика видеоинформации передающие телевизионные трубки. Полученное изображение транслируется на Землю по радиотелевизионным каналам в режиме реального времени, либо предварительно записывается на магнитный носитель. Если телевизионное изображение вначале строится в фокальной плоскости приемной оптики, то оно соответствует законам центрального проектирования. Если же оно формируется путем линейно-однострочного сканирования, то его геометрия аналогична геометрии сканерных снимков.



Бортовая аппаратура «Енисей».  
Разработана и изготовлена во ВНИИТе.

В деле освоения космического пространства всегда имели большое значение телевизионные средства связи космонавтов, находящихся на борту космического корабля или орбитальной станции, с наземными приемными пунктами и центром управления полетом. Этап развития этого направления работ фактически начат с изображения лица первого в мире космонавта Ю. А. Гагарина во время его полета вокруг Земли в 1961 году. Хотя телевизионная передача тогда велась с крайне низким разрешением — всего 100 строк в кадре, это стало исключительно важным событием, ведь оно дало возможность видеть в реальном времени лицо космонавта, впервые в мире облетавшего Землю на космическом корабле.

# Радиолокационные съёмочные системы

Создание радиофизических съёмочных систем основано на использовании радиоволн в качестве носителя информации об объектах земной поверхности. Их разделяют на два класса:

использующий метод активной радиолокации

регистрирующие собственное излучение объектов в радиодиапазоне

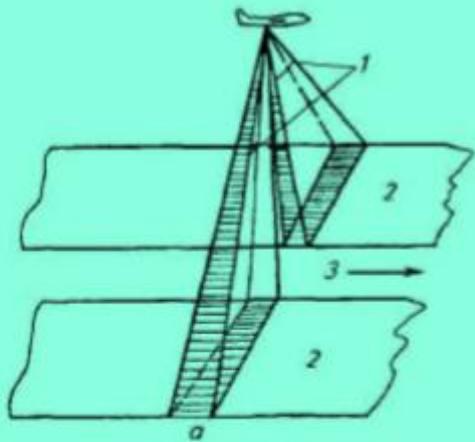


Рис. 1 Схема радиолокационной съёмки

Из систем относящихся к первому классу наибольшее применение получили радиолокационные станции бокового обзора (РЛС БО). В основе их работы заложены принципы радиолокации. Генератор, установленный на борту летательного аппарата, вырабатывает радиоволны определённой длины, амплитуды, поляризации. С помощью антенны радиоизлучение (рис.1), в виде плоского луча (1), направляется на земную поверхность (2) перпендикулярно направлению полёта (3).

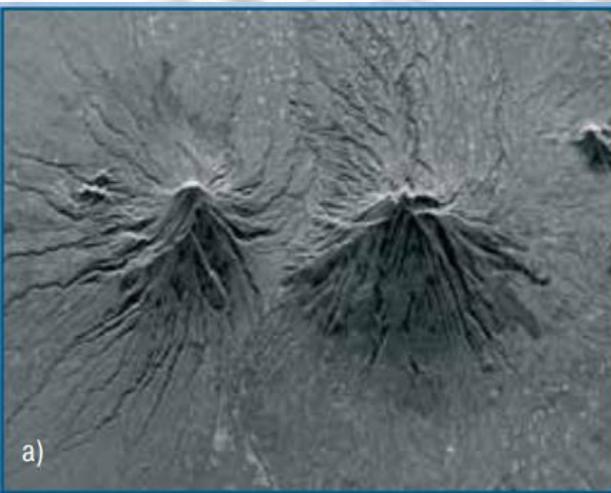


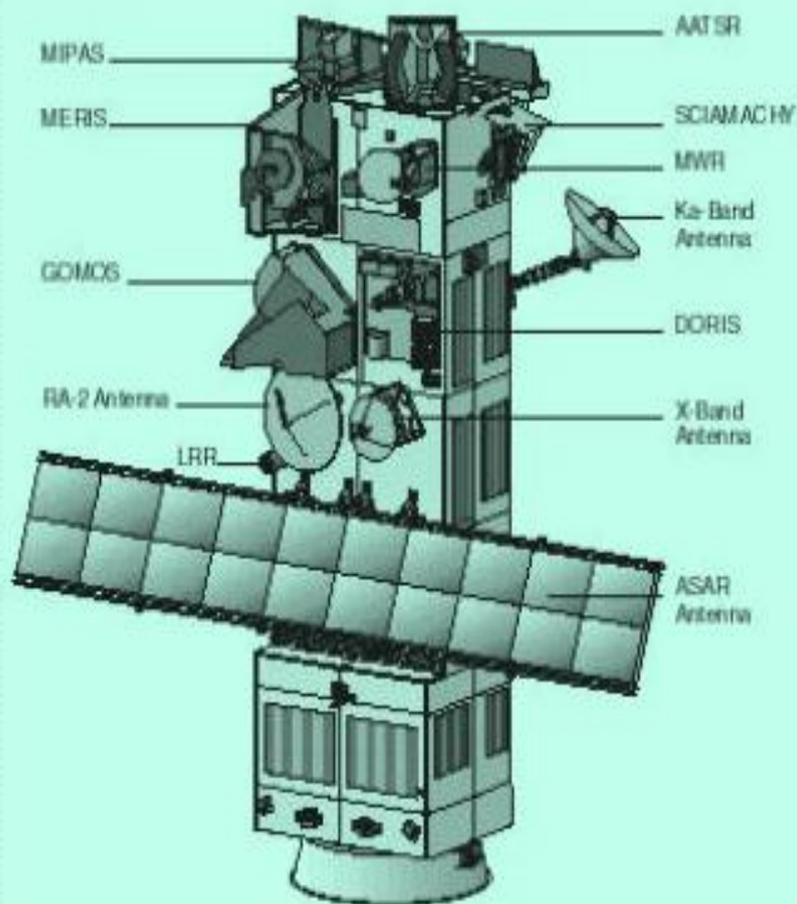
Рис. 2

Сравнение радиолокационного снимка и снимка в оптической зоне спектра:

а) TerraSAR-X (режим SCANSAR, пространственное разрешение 16 м);

б) Landsat-7 (комбинация каналов: 3-2-1, пространственное разрешение 30 м)

**Инструменты радарного и радиометрического зондирования Земли из космоса. Европейское космическое агенство. Комплексный природоресурстный спутник ENVISAT. Высота орбиты 800км. Угол наклонения 99°.**



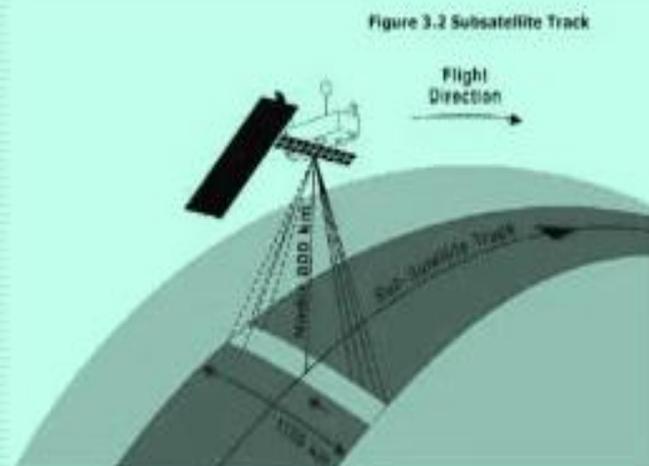
**AATSR.** Сканирующий оптический радиометр.

**MERIS.** Сканирующий оптический спектрометр.

**MWR.** Микроволновый радиометр.

**RA-2.** Радарный высотомер.

**ASAR.** Радар с синтезированной апертурой.



## Современные и перспективные космические радиолокационные системы ДЗЗ

Наименование радиолокационных систем	Страна	Дата запуска, год	Диапазон	Периодичность, дней	Съемка		
					ПР, м	ПС, км	ПЛ
Действующие системы							
ERS-2	Европа	21.04.1995	C	35	30	100	–
Radarsat-1	Канада	04.11.1995	C	24	8	50	–
Envisat /ASAR	Европа	01.03.2002	C	35	25	100	+/-
ALOS / PALSAR	Япония	24.01.2006	L	46	7	70	+
COSMO-SkyMed-1*	Италия	07.06.2007	X	16	1	10	+
TerraSAR-X	Германия	15.06.2007	X	11	1	10x5	+
COSMO-SkyMed-2*	Италия	08.12.2007	X	16	1	10	+
Radarsat-2	Канада	14.12.2007	C	24	3	20	+
Перспективные системы							
COSMO-SkyMed-3	Италия	2008	X	16	1	10	+
Кондор-Э	Россия	2009	S	–	1-2	10-20	–
RISAT-1	Индия	2009	C	12	2	10	+
TanDEM-X	Германия	2009	X	11	1	10x5	+
Huan Jing-1C (HJ-1C)	Китай	2010	S	31	1	–	–
SAOCOM-1A/1B	Аргентина	2010	L	16	7	50	+
Kompsat-5	Южная Корея	2010	X	–	1	5	н/д

Примечания.

ПР - максимальное пространственное разрешение, которое дает система.

ПС - полоса съемки, соответствующего режима.

ПЛ - возможность поляриметрической съемки (- нет, + есть, +/- частично, н/д - нет данных).

\* Вопрос коммерческого распространения данных на территории России уточняется.

## Основные технические параметры и стоимость радиолокационных данных

Наименование радиолокационных систем	Режим съемки	ПР, м	Размер сцены, км	Поляризация <sup>1</sup>	Стоимость данных <sup>2</sup> , руб.			
					Архив <sup>3</sup>		Новая съемка <sup>4</sup>	
					цена	1 км <sup>2</sup>	цена	1 км <sup>2</sup>
TerraSAR-X	HighSpot	1	5×10	HH/VV	121500	2430	243000	4860
	SpotLight	2	10×10	HH/VV или HH+VV	121500	1215	243000	2430
TerraSAR-X	StripMap	3	30×50	HH/VV/ HV/VH или HH+HV/ VV+VH/ HH+VV	94500	63	135000	90
	ScanSAR	16	100×150	HH/VV	69300	4,6	99000	6,6
Radarsat-2	Ultra-Fine	3	20×20	HH/VV/ HV/VH	138000	345	135000	337,5
	Fine <sup>5</sup>	8	50×50	HH/VV/ HV/VH или HH+HV/ VV+VH	93000	37,2	90000	36,0
	Standard <sup>6</sup>	25	100×100		93000	9,3	90000	9,0
	Wide <sup>6</sup>	30	150×150		93000	4,1	90000	4,0
	ScanSAR Narrow <sup>6</sup>	50	300×300		93000	1,03	90000	1,0
	ScanSAR Wide <sup>6</sup>	100	500×500		93000	0,4	90000	0,36
	Extended High	25	75×75	HH	93000	16,5	90000	16,0
	Fine Quad-Pol	12	25×25	полная	138000	220,8	135000	216
	Standard Quad-Pol	25	25×25		138000	220,8	135000	216
ALOS / PALSAR	Fine Beam Single (FBS)	7	70×70	HH/VV	13750	2,8	–	–
	Fine Beam Dual (FBD)	14	70×70	HH+HV/VV+VH	13750	2,8	–	–
	Polarimetric (PLR)	24	35×70	Полная	13750	5,6	–	–
	ScanSAR	100	350×350	HH/VV	13750	0,1	–	–
Radarsat-1 <sup>4</sup>	Fine	8	50×50	HH	94375	37,8	90000	36,0
	Standard	25	100×100		94375	9,4	90000	9,0
	Extended High	25	75×75		94375	16,8	90000	16,0
	Wide	30	150×150		94375	4,2	90000	4,0
	Extended Low	35	170×170		94375	3,3	90000	3,1
	ScanSAR Narrow	50	300×300		94375	1,05	90000	1,0
	ScanSAR Wide	100	500×500		94375	0,4	90000	0,36
Envisat / ASAR	Image (IM)	25	100×100	VV	10800	1,1	18000	1,8
	Alternating Polarisation (AP)	25	100×100	VV+VH	10800	1,1	18000	1,8
	Wide Swath (WS)	100	400×400	VV	10800	0,07	18000	0,1
ERS-2	Image (IM)	30	100×100	VV	6480	0,65	10800	1,1

# Лазерные съемочные системы

Лазерные сканирующие системы основаны на использовании полупроводникового лазера ближнего инфракрасного диапазона, работающего в импульсном режиме. Одна из возможных схем такой системы предполагает лазерное облучение полосы местности и последующий прием отраженных сигналов, интенсивность которых определяется отражательной способностью объектов местности. Причем, в каждом элементарном измерении регистрируется наклонная дальность и значения углов, определяющих направление распространения зондирующего луча в системе координат локатора.



Рис. 1. Пример спутниковых данных с разрешением 30 см (WorldView-3, слева) и 50 см (WorldView-2, справа)

# Сканирующие съемочные системы

Сканирующие съемочные системы основаны на использовании оптико-механических устройств, представляющих собой быстро качающееся зеркало (около 1000 колебаний в секунду). Попадающие на его поверхность фрагменты изображения местности направляются через зеркальный объектив на точечный приемник, который преобразует лучистую энергию в электрический сигнал. Этот сигнал заносится на магнитный носитель в виде цифрового кода, зависящего от амплитуды сигнала, и в последующем передается на Землю. Как правило, различается 256 уровней видеосигнала, соответствующих изменению яркости объектов. В многозональных системах поступающий сигнал с помощью системы фильтров разделяется на спектральные каналы с очень узкой полосой.

Различают несколько типов оптико-механических сканирующих систем, базирующихся на использовании линейной, конической горизонтальной и конической вертикальной разверток.

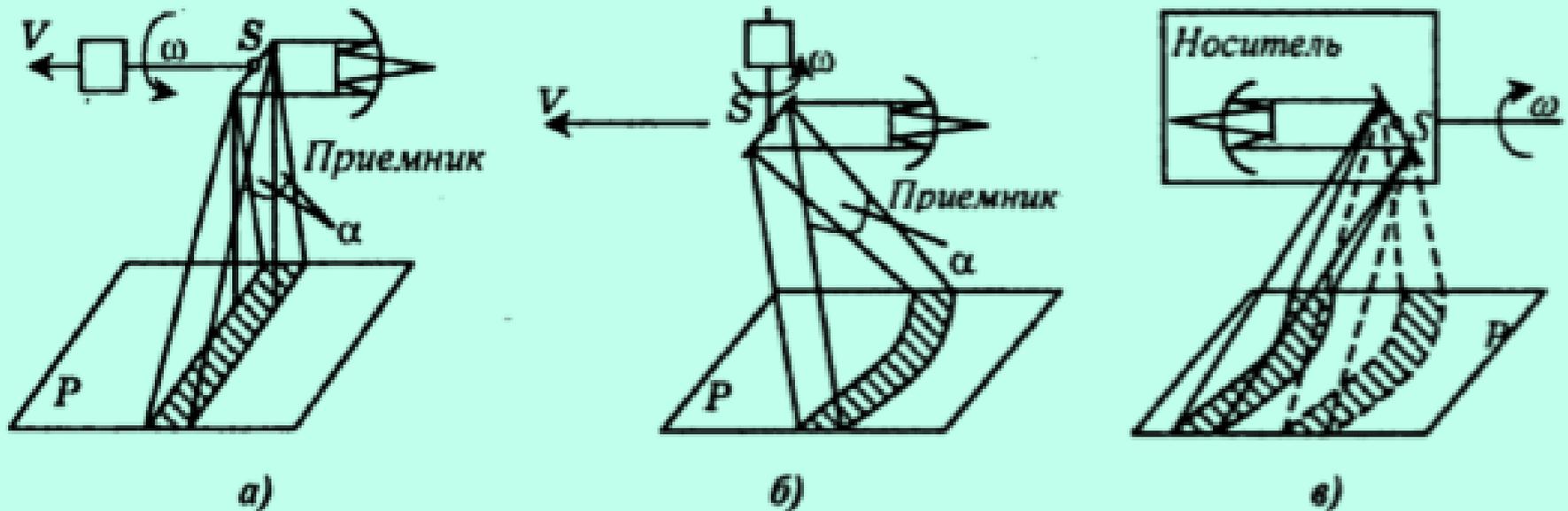


Рис. Геометрия сканера с линейно-однострочной (а), вертикальной (б) и горизонтальной (в) конической развёрткой

# Оптико-электронные съёмочные системы

Оптико-электронные съёмочные системы получили в последние 5-7 лет наибольшее распространение, что объясняется простотой их конструкции, отсутствием подвижных элементов и стабильностью, высокой точностью обработки и пр. Строка изображения в таких системах формируется одновременно, с помощью линеек, встроенных на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС), располагающихся в фокальной плоскости приемной оптики перпендикулярно к направлению движения носителя (рис.). Сформированная в приемнике строка изображения преобразуется в цифровые сигналы, характеризующие отражательную способность элементов объекта в том или ином диапазоне волн. Несколько тысяч фотоприемников (детекторов) размером  $l$  несколько мкм каждый создают строку первичного изображения. Развертка в панораму осуществляется за счет движения носителя съёмочной аппаратуры.

Одним из основных узлов оптико-электронной съёмочной системы является *радиометр* {*фотометр, видеоспектрометр*) с помощью которого измеряется интенсивность излучения, зарегистрированного в пределах каждого пиксела.

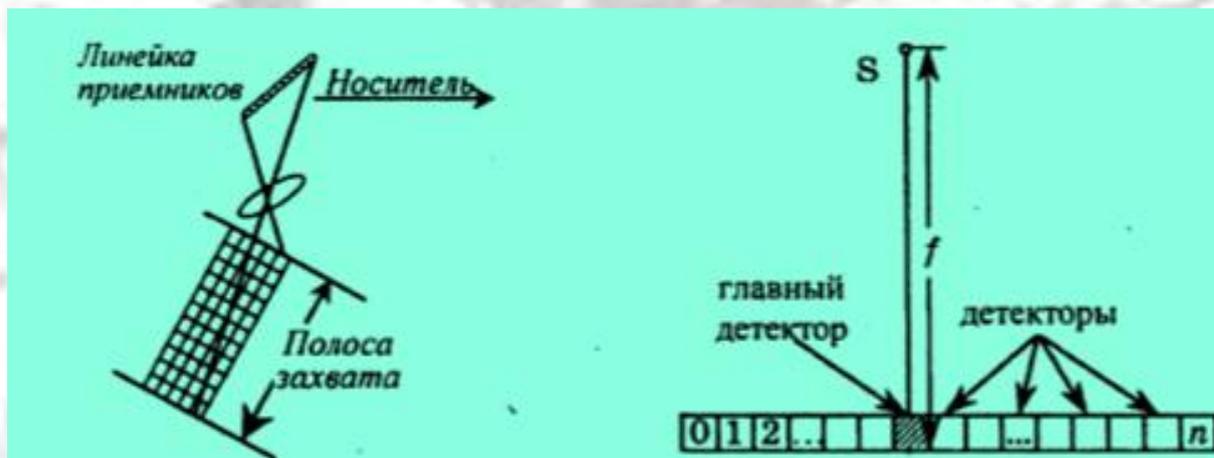
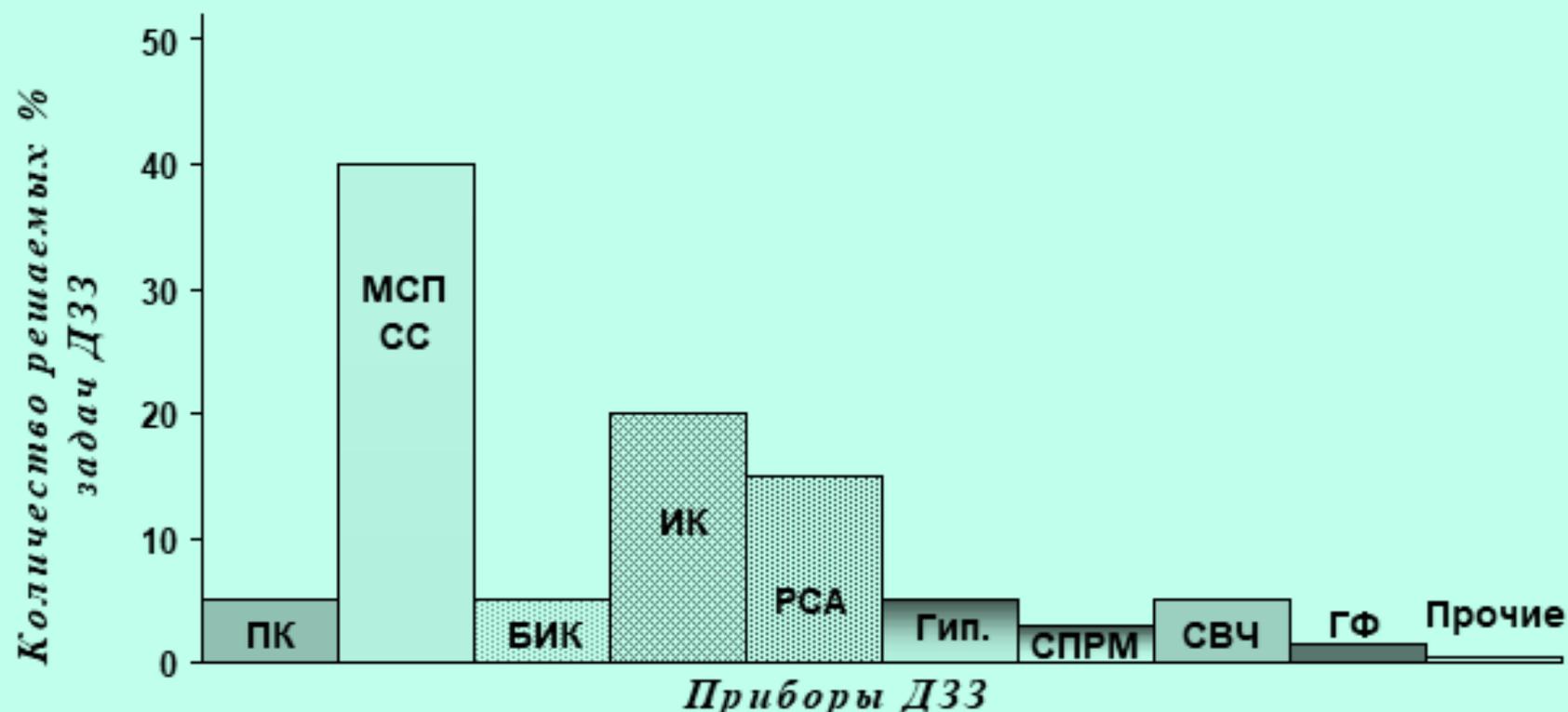


Рис. Геометрия сканера с ПЗС-приёмниками (а), линейка приёмников и центр проекции (б)

# «ОБЗОР-ОМ-В» на стенде контроля ОАО «ЛОМО»



## Относительная важность основных классов приборов ДЗЗ



- ПК - панхроматические съемочные камеры,
- МСП СС - многоспектральные съемочные системы,
- БИК - съемочные приборы БИК-диапазонов,
- ИК - инфракрасные радиометры среднего и дальнего ИК-диапазонов,
- РСА - радиолокаторы с синтезированной апертурой,
- Гип. - гипер- и видеоспектрометры,
- СПРМ - инфракрасные спектро-радиометры и фурье-спектрометры,
- СВЧ - микроволновые (СВЧ) радиометры и спектрометры,
- ГФ - приборы для гелиогеофизических измерений

# Второй учебный вопрос

## Основные характеристики материалов дистанционного зондирования.

Материалы дистанционного зондирования принято характеризовать пространственным (геометрическим), спектральным, радиометрическим разрешением и периодичностью съемки одного участка. Кроме того, при их обработке важно знать некоторые элементы орбиты спутника - носителя съемочной аппаратуры.

Элементы орбиты носителя съемочного оборудования определим в инерциальной системе координат  $OXYZ$  (рис. 16.8) с началом в центре Земли  $O$ . Ось  $OZ$  совмещается с осью вращения Земли, ось  $OX$  направлена в точку весеннего равноденствия  $\Upsilon$ , а ось  $OY$  размещается так, чтобы система оказалась правой. Эллиптическая

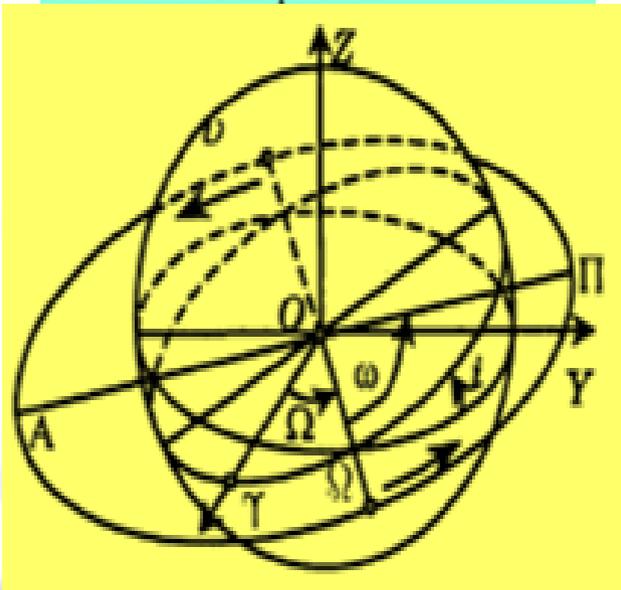


Рис.16.8 Элементы орбиты носителя съёмочной аппаратуры

Элементами орбиты являются

$\Omega$  – долгота восходящего узла, отсчитываемая в плоскости экватора между направлением на узел и на точку весеннего равноденствия;  
 $t$  – время прохождения спутника через перигентр;  
 $\omega$  – аргумент перигентра, определяемый как угол в плоскости орбиты между линией узлов  $TU$  и направлением на перигентр;  
 $i$  – наклонение – угол между экватором и плоскостью орбиты;  
 $a$  – большая полуось орбиты спутника;  
 $\epsilon$  – эксцентриситет орбиты, определяемый по формуле

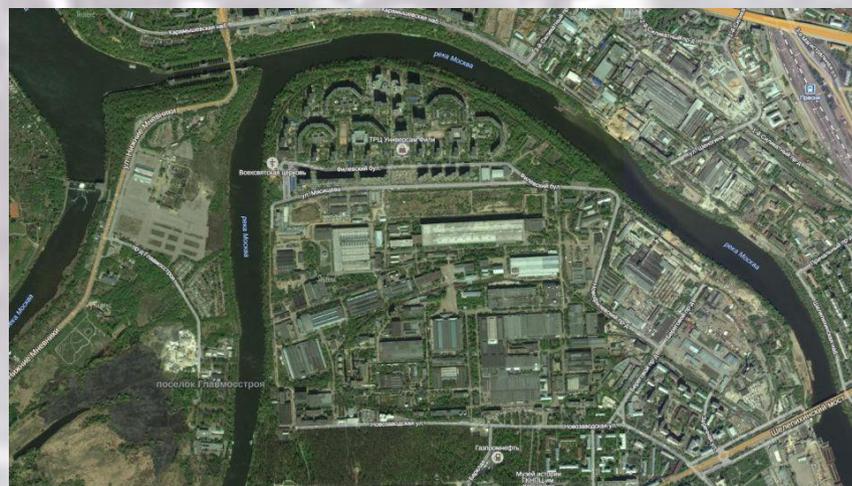
$$\epsilon = c/a, \quad (16.1)$$

где  $c$  - расстояние между центром эллипса и точкой его фокуса.

Если эксцентриситет  $\epsilon = 0$  ( $c = 0$ ), то орбита спутника представляет собой окружность; если  $0 < \epsilon < 1$  – эллипс; при  $\epsilon = 1$  она представляет собой параболу, а при  $\epsilon > 1$  – гиперболу.

В зависимости от величины угла наклона, различают орбиты экваториальные ( $i = 0^\circ$ ), полярные ( $i = 90^\circ$ ), субполярные ( $i \approx 90^\circ$ ) и наклонные, которые, в свою очередь, делятся на прямые ( $0^\circ < i < 90^\circ$ ) и обратные ( $90^\circ < i < 180^\circ$ ). Наклонение орбиты определяет охватываемый съемкой широтный пояс планеты, который всегда простирается от  $i^\circ$  северной широты до  $i^\circ$  южной широты.

Аэро- и космический снимок – это двумерное изображение реальных объектов, которое получено по определенным геометрическим и радиометрическим (фотометрическим) законам путем дистанционной регистрации яркости объектов и предназначено для исследования видимых и скрытых объектов, явлений и процессов окружающего мира, а также для определения их пространственного положения.



Космический снимок имеет особенности, связанные с:

фотографированием с больших высот

большой скоростью движения КА

Так как спутник по сравнению с самолетом движется значительно быстрее, то требует коротких выдержек при съемке. Космическая съемка различается по:

масштабам

пространственному разрешению

обзорности

спектральным характеристикам

Эти параметры определяют возможности дешифрирования на космических снимках различных объектов и решения тех задач, которые целесообразно решать с их помощью.

Масштаб и обзорность (форма, размер) космических снимков позволяют выявить объекты разного ранга, снятые в одно время и в одном режиме съемки. Обзорность снимка зависит от размеров участков земной поверхности, отображенной на космоснимке, и измеряется в единицах площади. По обзорности (охвату территории одним снимком) снимки разделяют:

1. Глобальные, охватывающие всю планету. Ширина зоны охвата более 10 тыс. км, а территориальный охват составляет сотни миллионов квадратных километров.



2. Крупнорегиональные, отображающие материки, их части и крупные регионы, — снимки с метеорологических спутников на околоземных орбитах, а также снимки малого и среднего разрешения с ресурсных спутников. Ширина зоны охвата варьирует от 3 тыс. км у снимков малого разрешения до 500 км у снимков среднего разрешения, территориальный охват составляет миллионы квадратных километров. На одном снимке этого типа изобразится Западная Европа, почти вся Австралия, Средняя Азия, Тибет.





3. Региональные, на которых изображаются регионы и их части, — это снимки с ресурсных и картографических спутников, а также с пилотируемых кораблей и орбитальных станций. Наиболее характерный охват 350 x 350 км<sup>2</sup>, 180 x 180 км<sup>2</sup>, 60 x 60 км<sup>2</sup>. На снимке подобного охвата изобразится такое государство, как Бельгия, небольшая область, например Московская, крупные мегаполисы.

4. Локальные, на которых изображаются относительно небольшие участки местности, — снимки со спутников для детального наблюдения и крупномасштабного топографического картографирования с охватом порядка 10 x 10 км<sup>2</sup>. На таком снимке изобразится промышленный комплекс, крупное хозяйство, небольшой город, а для Москвы потребуется несколько снимков.



Наиболее подробная классификация космических снимков по их пространственному разрешению предполагает выделение шести групп, в частности, следующих.

*Снимки низкого разрешения ( $LR > 1$  км)* являются обзорными и позволяют одновременно охватывать значительные территории - вплоть до целого полушария. Как правило, это снимки с геостационарных метеорологических и ресурсных спутников, содержащие изображения масштабных природных объектов - тепловой структуры океанов, крупнейших геологических структур и др.

*Снимки среднего разрешения ( $LR = 100 - 1000$  м)* являются основным источником данных для мониторинга природной среды. На снимках не отображаются хозяйственные объекты, а преимущественно природные.

*Снимки относительно высокого разрешения ( $LR = 30 - 100$  м)* получаются с помощью сканирующей аппаратуры или фотографических съемочных систем ресурсных спутников. Такие снимки используются для создания и обновления топографических карт, решения оперативных задач и обзорного тематического картографирования.

*Снимки высокого разрешения ( $LR = 10-30$  м)* используются для создания и обновления топографических карт, для детального тематического картографирования.

*Снимки очень высокого разрешения ( $LR = 1-10$  м)* получают с помощью длиннофокусных фотографических систем и аппаратуры оптико-электронного сканирования. Снимки отображают весь комплекс природных и хозяйственных объектов, в т.ч. населенные пункты, транспортные коммуникации, объекты инженерной инфраструктуры и др., и широко используются для решения топографических задач.

*Снимки сверхвысокого разрешения ( $LR < 1$  м)* получают с помощью оптико-электронных съемочных систем и используют для крупномасштабного картографирования и изучения отдельных объектов.

Радиометрическое разрешение определяет диапазон различных на снимке яркостей, или число градаций сигнала в каждой спектральной зоне. Большинство радиометров обладает радиометрическим разрешением 6 или 8 бит, что достаточно близко к динамическому диапазону зрения человека. Имеются радиометры и с более высоким разрешением (10-11 бит/пиксел), позволяющим различать больше деталей в очень ярких или очень темных областях снимка. Это важно при съемке объектов, находящихся в тени, а также когда на снимке одновременно находятся большие водные поверхности и суша.



Спектральное разрешение характеризует количество регистрируемых спектральных зон, их ширину и размещение по электромагнитному спектру. Спектральное разрешение измеряется в нанометрах (нм) или микрометрах (мкм). Такая зона может быть достаточно широкой, как, например, единственная зона панхроматического снимка (0,4-0,7 мкм) или узкой, как, например, красная зона (0,63-0,69 мкм). Наиболее высокое спектральное разрешение (порядка 10 нм) имеют снимки, полученные с помощью гиперспектрального радиометра. Чем шире зона, тем ниже спектральное разрешение, тем меньше вероятность обнаружения интересующего объекта.

# Третий учебный вопрос

## Космические системы дистанционного зондирования.

В последнее десятилетие четко обозначились основные тенденции развития средств и методов дистанционного зондирования, и в первую очередь - высокого пространственного разрешения, а имеющийся опыт позволил сформулировать основные требования к ним, в частности:

высокое пространственное разрешение (не хуже 1 м в панхроматическом диапазоне);

высокое радиометрическое разрешение (не менее 11 бит на пиксел в панхроматическом диапазоне);

наличие не менее четырех спектральных каналов, в том числе одного инфракрасного;

пространственное разрешение мультиспектральной съемки не хуже 4 м;



Рис. 3. Общий случай орбиты спутника с наклоном  $0^\circ < "i" < 90^\circ$ .

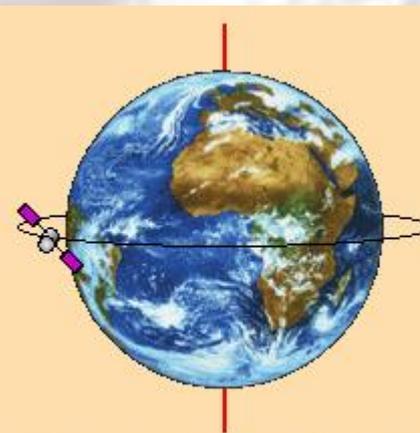


Рис. 4. Экваториальная орбита.

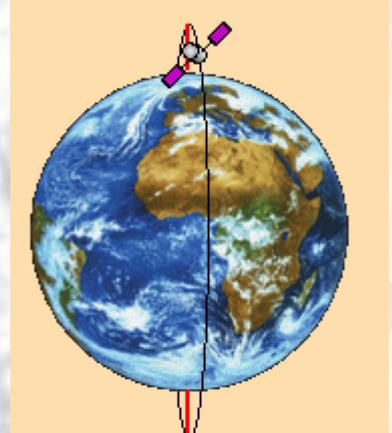


Рис. 5. Полярная орбита.

возможность выполнения стереоскопической съемки;

возможность использования полученных материалов для обновления картографических материалов масштаба 1:5000 и мельче и создания топографических карт масштаба 1:10000 и мельче;

периодичность получения данных на одну и ту же область не более трех суток на широте 54-56°;

возможность осуществления мониторинга определенных территорий и районов не менее четырех раз в год;

ширина полосы захвата не менее 8 км;

возможность выполнения съемки с отклонением визирной оси от отвесной линии на угол до 30°.

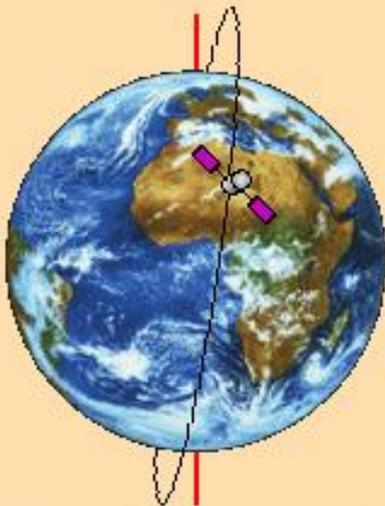


Рис. 6. Солнечно-синхронная орбита.

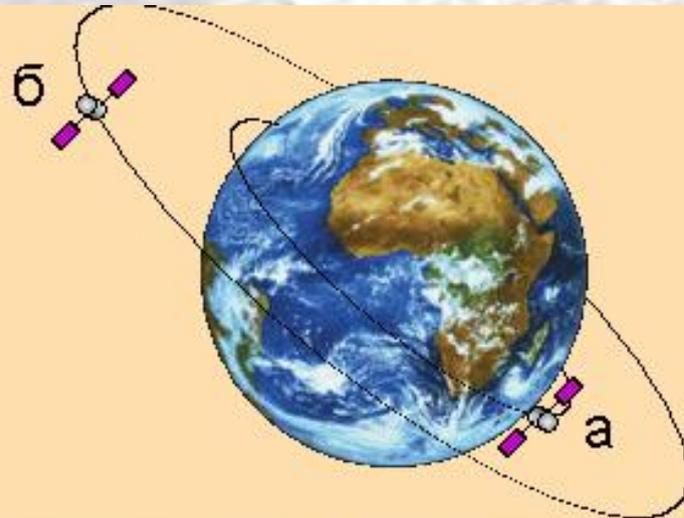
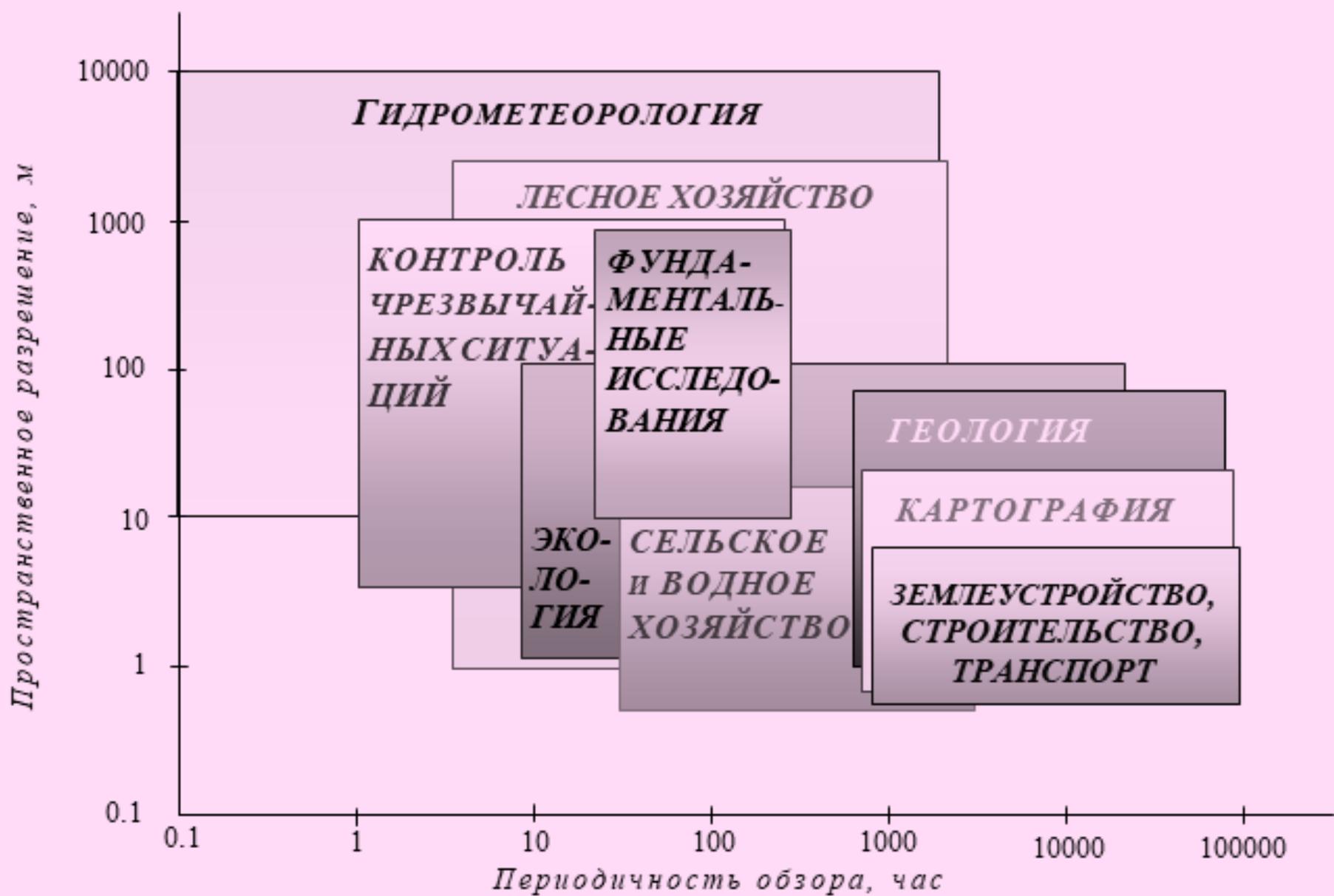
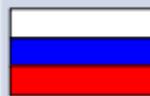


Рис. 8. Низкоорбитальные ИСЗ (а) и среднеорбитальные ИСЗ (б).

# Требования к периодичности обзора и пространственному разрешению для областей применения КА ДЗЗ

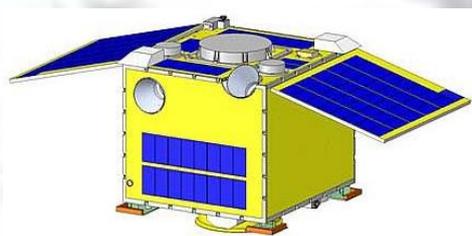


# Состояние и прогноз развития орбитальных группировок космических аппаратов ведущих стран мира

	Годы	Назначение космических аппаратов и их количество в орбитальной группировке (ОГ)						Общее количество КА в ОГ страны
		Связь	ДЗЗ+ геофизика	Навигация	Космическая технология	ФКИ	КА Минобороны	
 США	2015	242	23	31	79**)	43	154	572
	2020 (прогноз)	233	24	36	*	29		330
	2030 (прогноз)	245	32	40	*	35		352
 ЕКА	2015	92	41	12	32	15	НЕТ	193
	2020 (прогноз)	38	40	30	*	18		128
	2030 (прогноз)	41	60	30	*	21		154
 Китай	2015	26	26	17	33	3	69	174
	2020 (прогноз)	29	30	36	1	5		106
	2030 (прогноз)	33	40	40	*	5		118
 Россия	2015	33	8	34	6	1	52	134
	2020 (прогноз)	34	20+2	31	2	3		102
	2030 (прогноз)	75	33+12	41	2	21		189

\* - данные отсутствуют

\*\* - включая 76 КА типа «Кубсат»



Наименование КА	Государство/ оператор	Типы сенсоров	Пространственное разрешение	Планируемая дата запуска	Назначение и дополнительная информация
RISESat/ Hodoyoshi-2	Япония/ Shinichi Nakasuka of University of Tokyo	Оптический, гипер-спектральный	5 м/пикс 100 м/пикс	17 января	Микроспутник, имеет приборы для мониторинга атмосферы. Запущен в рамках проекта FIRST. Запуск прошёл успешно.

# ТЕКУЩИЙ СОСТАВ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

СРЕДНЕОРБИТАЛЬНАЯ КС  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

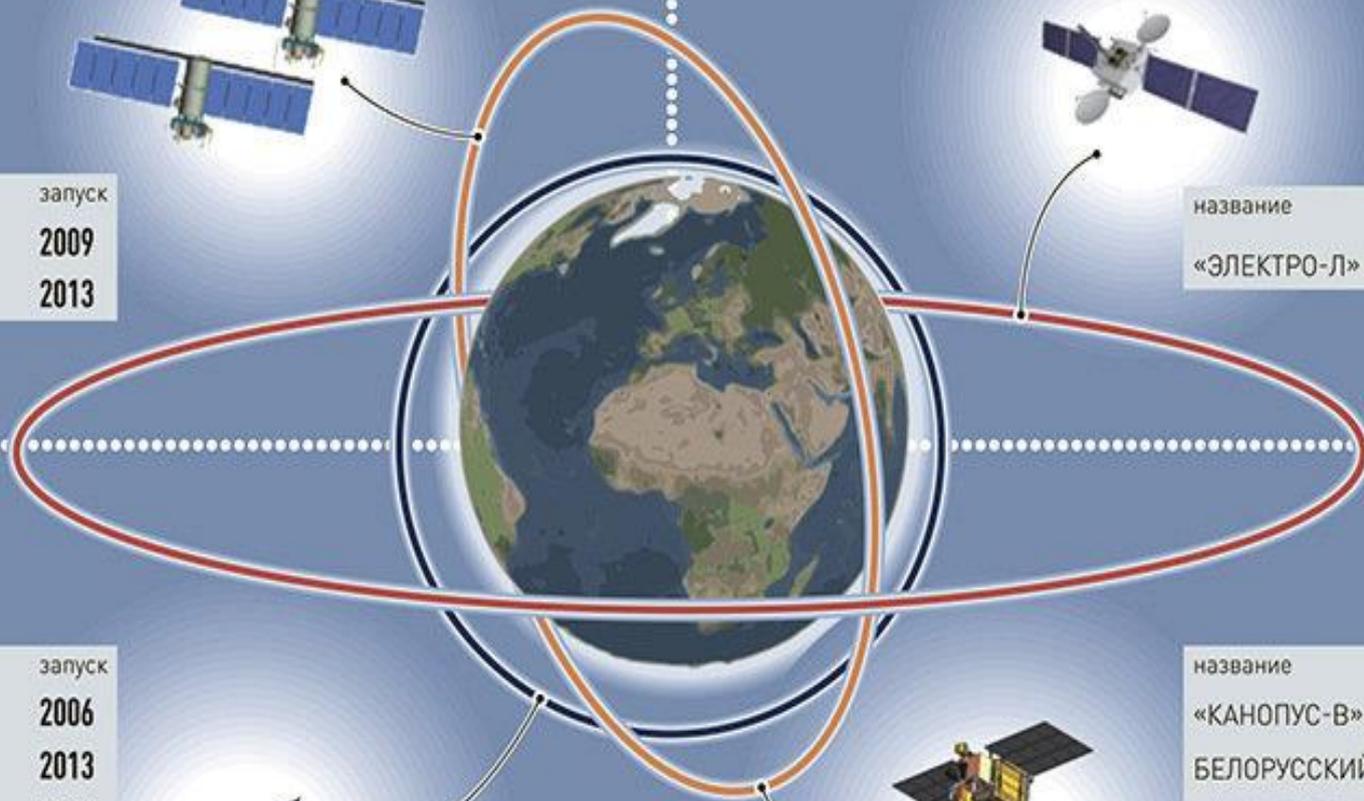


название	запуск
«МЕТЕОР-М» №1	2009
«МЕТЕОР-М» №2	2013

ВЫСОКООРБИТАЛЬНАЯ КС  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ



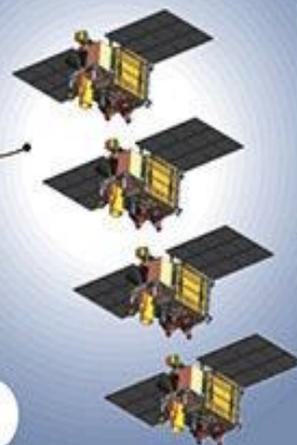
название	запуск
«ЭЛЕКТРО-Л» №1	2011



название	запуск
«РЕСУРС-ДК1»	2006
«РЕСУРС-П» №1	2013
«РЕСУРС-П» №2	2014



название	запуск
«КАНОПУС-В» №1	2012
БЕЛОРУССКИЙ КА (БКА)	2012
«КАНОПУС-В-ИК»	2017
«КАНОПУС-В»	2018
«КАНОПУС-В»	2018



КС ПРИРОДОРЕСУРСНОГО НАЗНАЧЕНИЯ  
И МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ



## Комплексный учет требований потребителей данных ДЗЗ

### Росгидромет

Проведение различных видов космической съемки для решения задач экологического мониторинга

### Росреестр

Плановая съемка значительных территорий с ограничениями по облачности, освещению, углу визирования и др.

### МЧС России

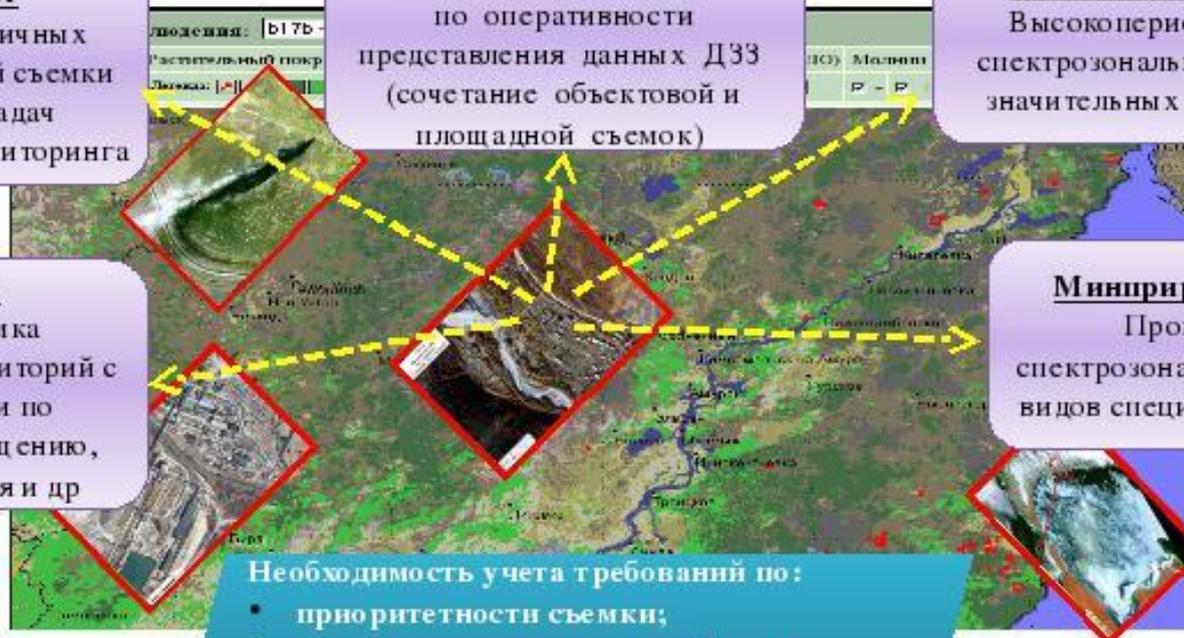
Высокие требования по оперативности представления данных ДЗЗ (сочетание объектовой и площадной съемки)

### Минсельхоз России

Высокопериодичная спектральная съемка значительных площадей

### Минприроды России

Проведение спектральной и других видов специальной съемки



Необходимость учета требований по:

- приоритетности съемки;
- радиометрическому и линейному разрешению
- оперативности и периодичности;
- сочетанию режимов объектовой и площадной космической съемки;
- видам космической съемки и др.

**Основа комплексного учета требований – централизованное комплексное планирование целевого применения ОГ КС ДЗЗ с использованием возможностей каждого КА ДЗЗ.**

КА	Страна/ оператор	Дата запуска	Н, км	Масса, Кг	Простран- ственное разрешение, м		Спектральные диапазоны (мкм)		Захват PAN (MS).  км	Точность геопривязки без наземной опоры, м	Цена за 1 кв. км в долларах США Архив; Новая
					PAN	MS	PAN	MS			
SPOT-5	Франция/ ASTRIUM	03.05.0 2	822	3000	2.5 (5)	10	0.48–0.71	0.50 – 0.59 0.61 – 0.68 0.78 – 0.89 1.58 – 1.75	60 (60)	50	1.15 – 3.9; 1.3 – 4.5
Formosat-2	Тайвань/ NSPO	21.05.0 4	891	764	2	8	0.45–0.90	0.45 – 0.52 0.52 – 0.60 0.63 – 0.69 0.76 – 0.90	24 (24)	70	3.33 – 4.0; 4.67 – 5.33
IRS-P5	Индия	05.05.0 5	618	1560	2.5	-	0.50 – 0.85	-	29.42/26.24	< 220	1.51; 1.81
ALOS	Япония/ JAXA, PASCO	24.01.0 6	692	3850	2.5	10	0.52 – 0.77	0.42 – 0.50 0.52 – 0.60 0.61 – 0.69 0.76 – 0.89	35/70 (70)	~30	0,55 – 0,65; нет
THEOS	Таиланд/ GISTDA	01.10.0 8	822	715	2	15	0.45 – 0.90	0.45 – 0.52 0.53 – 0.60 0.62 – 0.69 0.77 – 0.90	22 (90)	~300	3.5; 4.7
NigeriaSat-2	Нигерия/ NASRDA	17.08.1 1	700	270	2.5	5	0.52–0.90	0.45–0.52 0.53–0.60 0.63–0.69 0.77–0.90	20 (20)	35	1,5 – 1,8; 2,45 – 2,76
ZY-3	Китай/ SASMAR	09.01.1 2	505	2630	2.1	5.8	0.45 – 0.80	0.45–0.52 0.52–0.59 0.63–0.69 0.77–0.89	50 (52)	—	—

## Состав задач дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и требования к космической информации для их решения

№ п/п	Области использования космической информации, решаемые задачи	Требования к информации							
		Разрешение		Спектральный диапазон	Полоса захвата, обзора, км	Географический район наблюдения Точность географической привязки, км	Общая площадь объектов наблюдения, млн. км <sup>2</sup>	Суммарная площадь ежегодных обследований, млн. км <sup>2</sup>	Сезон, периодичность наблюдений Оперативность получения информации
		Пространственное, м	Радиометрическое						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.2	<i>Сельское и водное хозяйство</i>								
4.2.1	Картографирование использования земель:				<u>100</u> 600	Территория России	6	1.2	<u>5 лет</u> 1 мес
4.2.1.1	- региональный уровень;	5-10	0.1-0.5%	0.5--1.1 мкм (4 канала)	<u>50</u>		2	0.4	
4.2.1.2	- местный уровень.	0,5-2			600				
4.2.2	Мониторинг процессов деградации земель (засоление, подтопления, заболачивание и пр.)	5-10	0.1-0.5%	“-----“	<u>50</u> 600	С/х угодья России, ирригационные территории	1.0	0.1	<u>10 лет</u> 1-2 мес
4.2.3	Оценка развития эрозийных процессов	1-2	0.1-0.5%	0.6-0.7 мкм	<u>30-50</u> 600	“-----“	1.0	0.1	<u>10 лет</u> 1-2 мес
4.2.4	Инвентаризация посевов с/х культур, мониторинг их состояния, мониторинг влагосодержания и температуры почвы	10 - 50	256 уровней 0.1-0.5 % 0.1-0.2 К 0.5-1 дБ	Гиперспектр. 0.4-2.5 мкм (4-6 кан.) 10.4-12.6 мкм 3-20 см	<u>60-100</u> 600	“-----“	2	6	<u>1 мес</u> 1-5 сут
4.2.5	Создание и обновление кадастров с/х земель и ирригационных объектов	0.5-10	256 уровней 0.1-0.5 % 0.1-0.2 К 0.5-1 дБ	Гиперспектр. 0.4-2.5 мкм (4-6 кан.) 10.4-12.6 мкм 3-20 см	<u>60-100</u> 600	“-----“	2	5	<u>3-5 лет</u> 1 мес
4.2.6	Мониторинг состояния водоемов и водотоков	5-20	0.1-0.5 % 0.1-0.2К 0.5-1 дБ	0.4-2.5 (4-6 кан.) 10.4-12.6 мкм 3-20 см	<u>60-100</u> 600	“-----“	6	12	<u>0.5года</u> 1 мес
4.2.7	Мониторинг гидротехнических сооружений	2-10	“-----“	“-----“	<u>60-100</u> 600	“-----“	0.5	1	<u>0.5года</u> 1 мес

# Вопросы на самостоятельную работу

1. Какие преимущества имеют кадровые телевизионные системы перед фотографическими?
2. Как строится изображение в сканирующих системах? Какие преимущества и недостатки сканеров по сравнению с кадровыми съёмочными системами?
3. В чём заключается принцип получения изображения в тепловых съёмочных системах?
4. Какие достоинства имеют цифровые съёмочные системы?
5. Какие особенности в получении изображений лазерными съёмочными системами?
6. В чём заключается метод активной радиолокации?
7. Какие факторы проведения космических съёмок определяют особые геометрические и изобразительные свойства получаемых снимков?
8. По каким орбитам происходит движение КЛА при производстве съёмок? В чём преимущества каждой из них?
9. В чём заключаются отличия производства космических съёмок от аэросъёмок?
10. Какие факторы проведения космических съёмок определяют особые геометрические и изобразительные свойства получаемых снимков?
11. По каким орбитам происходит движение КЛА при производстве съёмок? В чём преимущества каждой из них?
12. В чём заключаются отличия производства космических съёмок от аэросъёмок?
13. Как классифицируются съёмочные системы ?
14. Охарактеризуйте оперативные и неоперативные съёмочные системы ?
15. Основные критерии, применяемые для оценки информационных возможностей съёмочных систем ?
16. Для каких съёмочных систем главным является получение изображения с высокими изобразительными свойствами?
17. От чего зависят масштабы съёмки?
18. Какие многоспектральные оптико-механические системы наиболее часто используются в настоящее время для съёмок из космоса?
19. Что является важнейшей характеристикой сканера?
20. В каких случаях применяется радиолокационная (РЛ) или радарная съёмка?

## Литература

1. Лимонов А.Н., Гаврилова Л.А. «Научные основы фотограмметрии и дистанционного зондирования». Научно-методическое пособие, электронная версия, 2013.
2. Лимонов А.Н., Гаврилова Л.А. «Фотограмметрия и дистанционное зондирование», М. Академпроект, 2016 г.
3. Лобанов А.Н. Фотограмметрия. М. Недра.1984.