

# Дистанционные и ГИС-технологии

Кузнецов Андрей Николаевич

доцент кафедры физической  
географии, экологии и охраны  
природы

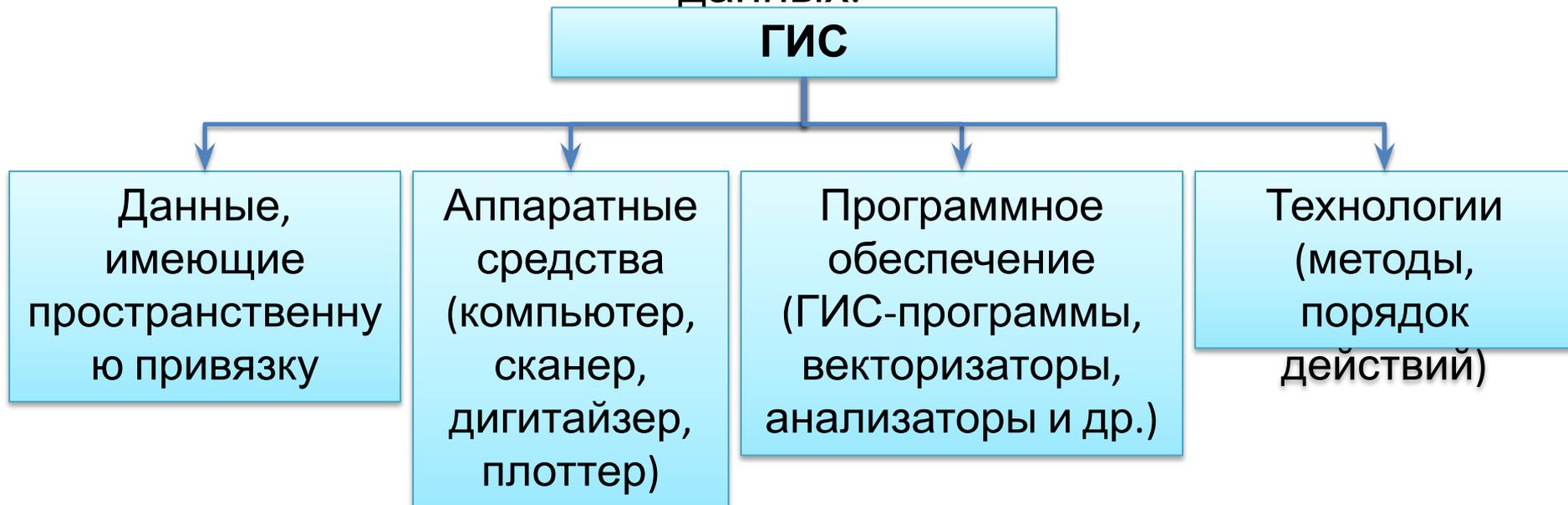
# **Дистанционные методы исследований**

- **Дистанционный метод** – получение информации об изучаемом объекте на значительном удалении от него.
- **Аэрокосмические методы исследований** – система дистанционных методов изучения атмосферы, земной поверхности, океанов, верхнего слоя земной коры с использованием воздушных и космических летательных аппаратов визуально или путем регистрации и последующего анализа отраженного или собственного электромагнитного излучения или иных физических полей Земли.
- Аэрокосмические методы исследований делятся на следующие группы:
  - визуальные исследования;
  - фотографическая съемка;
  - телевизионная съемка;
  - дистанционные геофизические исследования
- Применение аэрокосмических методов ускоряет и упрощает процесс картографирования и имеет большое значение при

# Географическая информационная система (ГИС)

– совокупность аппаратно-программных средств и алгоритмических процедур, предназначенных для сбора, ввода, хранения, математико-картографического моделирования и образного представления пространственной информации.

– система сбора, обработки, графического представления (визуализации) и анализа пространственно распределенных данных.



# Учебная дисциплина «Дистанционные и ГИС- технологии»

- Входит в блок дисциплин математического и естественнонаучного цикла, призванных сформировать общенаучные компетенции, включая базовые знания в области современных геоинформационных технологий, навыки использования программных средств обработки информации дистанционного изучения земной поверхности, океанов и атмосферы для решения профессиональных задач в области экологии и природопользования.
- **Цель дисциплины** – формирование у будущих специалистов-экологов основы знаний о современных методах дистанционного зондирования Земли, анализа этой информации в среде ГИС-программ, навыков применения дистанционных и ГИС-технологий при решении задач в области экологии и природопользования.
- Общая трудоемкость дисциплины составляет **3** зачетные единицы, **108** академических часов. **Форма аттестации – зачет.**

# Учебная карта дисциплины

№	Виды контрольных мероприятий	Кол-во баллов за контрольное мероприятие	Модуль 1	Модуль 2
			Дистанционные технологии изучения Земли	Анализ аэрокосмических снимков с использованием ГИС-технологий
Количество баллов по модулю				
<b>Текущий контроль</b>				
1.	Посещение лекций и семинарских занятий	0,3 балла за 1 час	10	–
2.	Выступление на семинарском занятии	12	12	–
3.	Участие в дискуссии на семинарских занятиях	8	8	–
4.	Работа на практических занятиях в компьютерном классе	1 балл за 1 час	–	16
<b>Рубежный контроль</b>				
1.	Контрольная работа	24	24	–
2.	Разработка и защита ГИС-проекта	30	–	30
<b>Промежуточная аттестация</b>				
	Зачет			

# Учебная карта дисциплины ОЗО

№	Виды контрольных мероприятий	Кол-во баллов за контрольное мероприятие	Модуль 1	Модуль 2
			Дистанционные технологии изучения Земли	Анализ аэрокосмических снимков с использованием ГИС-технологий
			Количество баллов по модулю	
<b>Текущий контроль</b>				
1.	Посещение лекций и семинарских занятий	2 балла за 1 час	12	–
4.	Работа на практических занятиях в компьютерном классе	4 балла за 1 час	–	24
<b>Рубежный контроль</b>				
1.	Контрольная работа	24	24	–
2.	Разработка и защита ГИС-проекта	40	–	40
<b>Промежуточная аттестация</b>				
	Зачет			

# Рекомендуемая литература

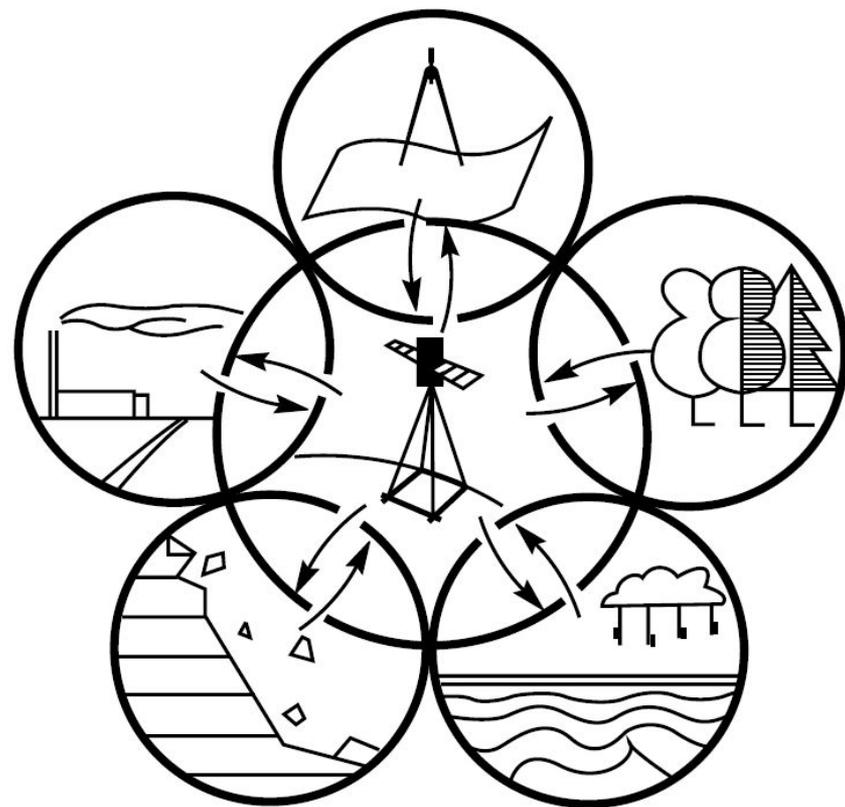
- Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований: учебник для студентов высших учебных заведений. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Академия, 2011. 416 с.
- Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований: учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Академия, 2004. 336 с.
- Шалькевич Ф.Е. Методы аэрокосмических исследований: курс лекций. Минск: БГУ, 2005. 161 с.
- Обиралов А.И., Лимонов А.Н., Гаврилова Л.А. Фотограмметрия и дистанционное зондирование. М.: Изд-во «Колосс», 2006. 335 с.
- Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Методы и модели обработки изображений (пер. с англ.). М.: Техносфера, 2010. 560 с.

# Аэрокосмическое зондирование как научная дисциплина

Зародившись как метод исследований, это междисциплинарное направление постепенно **становится самостоятельной научной дисциплиной**.

Во взаимодействии аэрокосмического зондирования с науками о Земле зарождаются такие прикладные научные направления, как **спутниковая метеорология, аэрофототопография, космическая океанология** и др. В современном содержании дисциплины выделяются **два взаимосвязанных раздела**:

- **естественнонаучный (аэрокосмические исследования)** – акцентирует внимание на объекте исследования, изучает свойства и взаимоотношения географических объектов, проявляющиеся прямо или косвенно в вариациях собственного или отраженного излучения.
- **инженерно-технический (аэрокосмические методы)**, который охватывает технические средства и технологию



# Сущность аэрокосмических методов

Информация об удаленном объекте передается с помощью отражаемого или испускаемого электромагнитного излучения, которое характеризуется следующими параметрами:

- **интенсивность**;
- **спектральный состав**;
- **поляризация**  
(неравномерное распространение света в плоскости, перпендикулярной световому лучу);



Эти параметры излучения зависят от свойств, состояния и пространственного положения объекта исследования => позволяют изучать его косвенно.

Одновременная регистрация излучения в разных спектральных зонах (**многозональный принцип**) позволяет получить наиболее разностороннюю взаимодополняющую информацию об объектах и явлениях

# Преимущества аэрокосмических методов

- Дистанционность – возможность получения информации об изучаемом объекте на значительном удалении от него, без непосредственного контакта с объектом.
- Аэрокосмические методы обеспечивают определение точного географического положения изучаемых объектов или явлений, получение их качественных и количественных характеристик.
- Использование аэрокосмических снимков упрощает изучение труднодоступных территорий, а также объектов и явлений, имеющих значительную протяженность в пространстве.

# Аэрокосмический снимок

**Аэрокосмический снимок** – универсальная форма регистрации электромагнитного излучения, несущего географическую информацию об исследуемых объектах.

Аэрокосмическое зондирование базируется на двух группах снимков:

- **воздушные (аэроснимки)** – получаются с самолетов (в атмосфере);
- **космические (орбитальные)** – получаются со спутников, вращающихся на околоземной орбите.

Принципиальных различий у аэроснимков и космоснимков нет, но космические снимки наиболее соответствуют размерности географических объектов и масштабам географических исследований.

В настоящее время широко используются как аэроснимки, так и космические снимки, но доля космических снимков имеет устойчивую тенденцию к увеличению.



# Разрешение съемки и помехи

**Пространственное разрешение съемки на местности определяется минимальным размером объекта на земной поверхности, излучение от которого идентифицируется и регистрируется съемочной аппаратурой. Оно зависит от совершенства аппаратуры и расстояния до изучаемого объекта.**



**Помехи** обусловлены, прежде всего, тем, что между изучаемой местностью и регистрирующей аппаратурой находится слой атмосферы, частично поглощающей излучение.

- Эффективно вести исследования можно только в отдельных зонах спектра электромагнитных волн (**окнах прозрачности**), проходящих через атмосферу с минимальными потерями.
- Серьезной помехой является облачность.

# Съемочная аппаратура

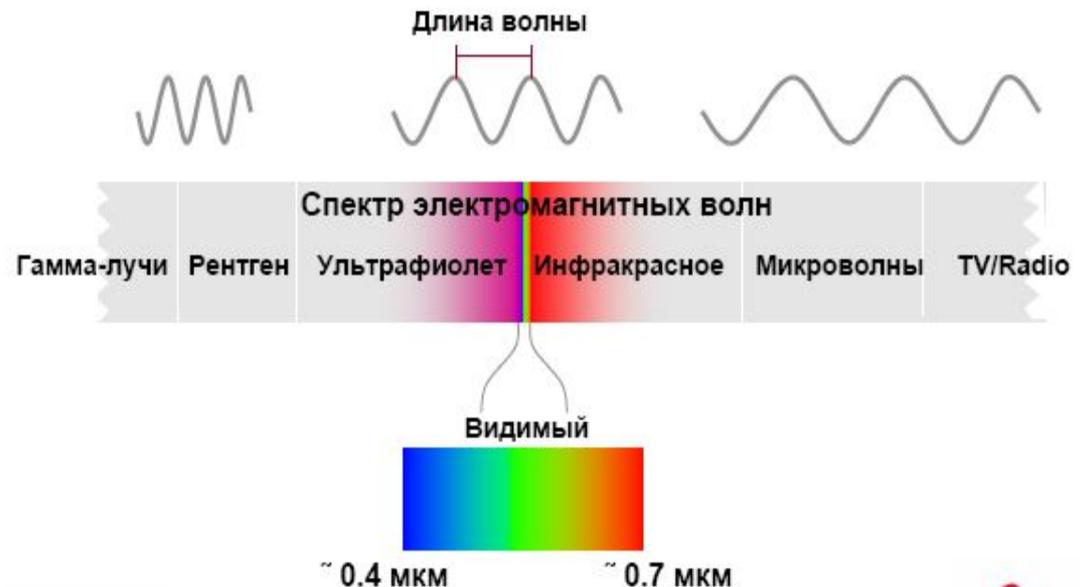
Аэрокосмические съемки выполняются с помощью специальной съемочной аппаратуры (**сенсоров**, от англ. *sensor* – чувствительный элемент):

- **фотографических камер,**
- **сканеров**
- **радиолокаторов**

Съемочная аппаратура, позволяющая одновременно получать снимки в нескольких спектральных зонах, называется **многозональной**, а в десятках и сотнях очень узких спектральных зон – **гиперспектральной**.

Принцип **множественности (комплексности)** аэрокосмических исследований предусматривает использование не одного снимка, а их серий, различающихся по таким параметрам, как:

- **масштаб;**
- **обзорность;**
- **разрешение;**
- **ракурс** съемки (расположение точки съемки по отношению к снимаемому объекту);
- **время съемки;**
- **спектральный диапазон;**
- **поляризация регистрируемого излучения.**



# Области использования ДДЗЗ

Разными специалистами предъявляются неодинаковые требования к космической геоинформации. Основные ее характеристики:

- обзорность;
- пространственное разрешение;
- спектральное разрешение;
- оперативность;
- периодичность получения.



Наибольший спрос – многозональные космические снимки охватом 50 – 200 км с разрешением 10 – 30 м, полученные в теплый сезон. Для осуществления мониторинга окружающей среды необходимы регулярные повторные съемки.

# История развития аэрокосмических методов исследований

**Первые снимки с самолетов** – одиночные фотографии небольших участков местности – появились перед Первой мировой войной.

В 1960-е гг. в числе первых введены в строй **обзорные советские и американские метеорологические системы** серий «Tiros», «ESSA», «Nimbus», «ITOS», «Метеор» и **космические съемочные системы детальной фоторазведки военных ведомств США** (спутники-съемщики с аппаратурой «KeyHole» – «замочная скважина») и СССР (спутники-съемщики «Зенит»).

В последующем начали функционировать **космические системы изучения природных ресурсов и мониторинга окружающей среды**, доставляющие пространственную геоинформацию широкому кругу гражданских потребителей, изучающих недра и морские акватории, оценивающих земельные, лесные и водные ресурсы, составляющих карты.

**Национальные космические системы природно-ресурсного направления первого поколения:**

- Landsat (США);
- Ресурс (СССР);
- SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre, Франция).

За четверть века регулярно запускаемые спутники каждой из этих систем многократно покрыли съемками всю Землю, дав миллионы снимков, образовавших их глобальный фонд.

# Космическая система изучения природных ресурсов и мониторинга окружающей среды «Ресурс» (СССР, РФ)

Функционирует с середины 1970-х гг.

**В нее входят :**

- автоматические космические аппараты фотографической съемки **Ресурс-Ф**;
- автоматические космические аппараты оперативного наблюдения за сушей **Ресурс-О** и океаном **Океан-О**;
- эпизодически привлекаются пилотируемые космические корабли и орбитальные станции, а также специальные самолеты-лаборатории;
- наземный элемент системы в виде **пунктов приема сигналов со спутников** (стационарных и передвижных) и специальных **тестовых участков** местности в различных природных зонах для отработки методов практического использования дистанционной видеоинформации.

# Автоматические космические аппараты фотографической съемки Ресурс-Ф

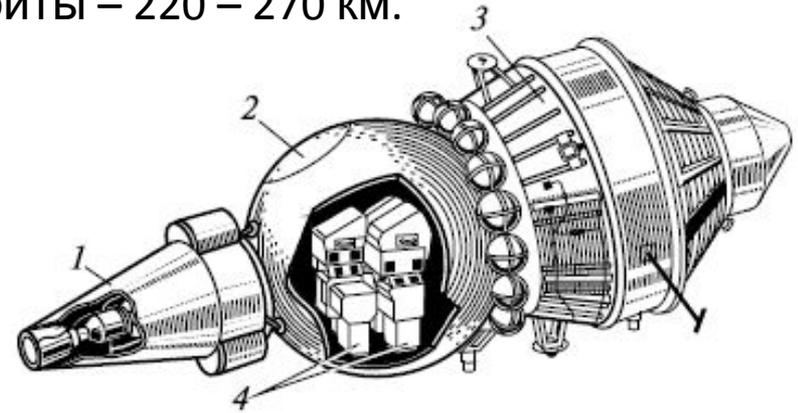
Космические аппараты **Ресурс-Ф** были рассчитаны на **крупномасштабную** черно-белую и спектрзональную фотосъемку поверхности Земли **в видимом диапазоне** спектра электромагнитного излучения.

**Использовались с 1979 по 1999 гг.**, за это время запущено более 100 фотографических спутников.

Время работы одного спутника на орбите – 25 – 30 суток **с возвращением спутника на Землю**. За это время спутник осуществлял двух-трехкратное покрытие всей поверхности Земли. Высота орбиты – 220 – 270 км.

На космических аппаратах серии Ресурс-Ф устанавливалась следующая **съёмочная аппаратура**:

- широкоформатный топографический аппарат КАТЭ-200 с разрешением до 15 – 20 м;
- длиннофокусный широкоформатный аппарат КФА-1000 для спектрзональной съемки с разрешением до 6 – 8 м;
- фотокамера МК-4 для многозональной съемки с разрешением 5 – 12 м (с 1988 г.).
- длиннофокусный широкоформатный аппарат КФА-3000 для спектрзональной съемки с разрешением до 2 – 3 м (1990-е



- 1 – корректирующая двигательная установка;
- 2 – спускаемый аппарат;
- 3 – приборный отсек;
- 4 – фотоаппаратура.

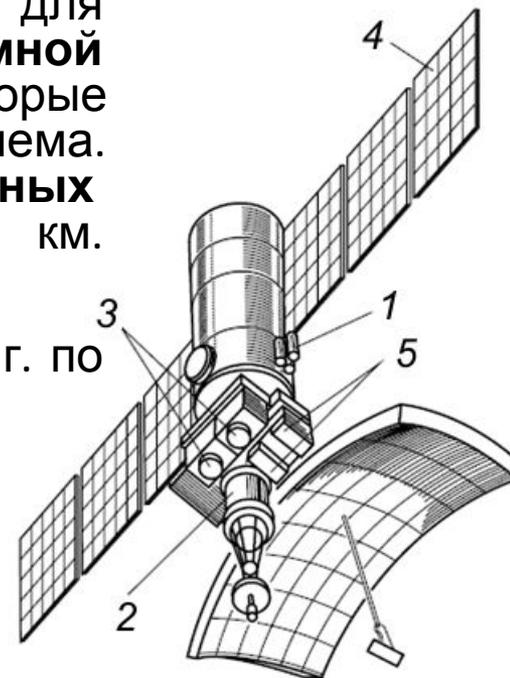
# Автоматические космические аппараты оперативного наблюдения за сушей Ресурс-О

Космические аппараты **Ресурс-О** предназначены для оперативного получения цифровых изображений земной поверхности в нескольких спектральных диапазонах, которые передаются по радиоканалам на наземные пункты приема. Работают в течение нескольких лет на гелиосинхронных околополярных орбитах высотой 600 – 900 км. Повторяемость съемки – один раз в 5 – 6 суток.

Космические аппараты **Ресурс-О** использовались с 1980 г. по 2000 г.

На космических аппаратах серии Ресурс-О устанавливалась следующая **съёмочная аппаратура**:

- Многоканальный оптико-электронный сканер высокого разрешения **МСУ-Э** – три спектральных диапазона, пространственное разрешение – до 34 м, полоса обзора – 45 км, (80 км – в режиме работы одновременно двух приборов).
- Многоканальное оптико-механическое сканер среднего разрешения с конической разверткой **МСУ-СК** – пять спектральных диапазонов, пространственное разрешение – до 160



- 1 – корректирующая двигательная установка;
- 2 – система ориентации;
- 3 – многозональный сканер среднего разрешения МСУ-СК;
- 4 – солнечные батареи;
- 5 – многозональный сканер высокого разрешения МСУ-Э

# Автоматические космические аппараты оперативного наблюдения за океаном

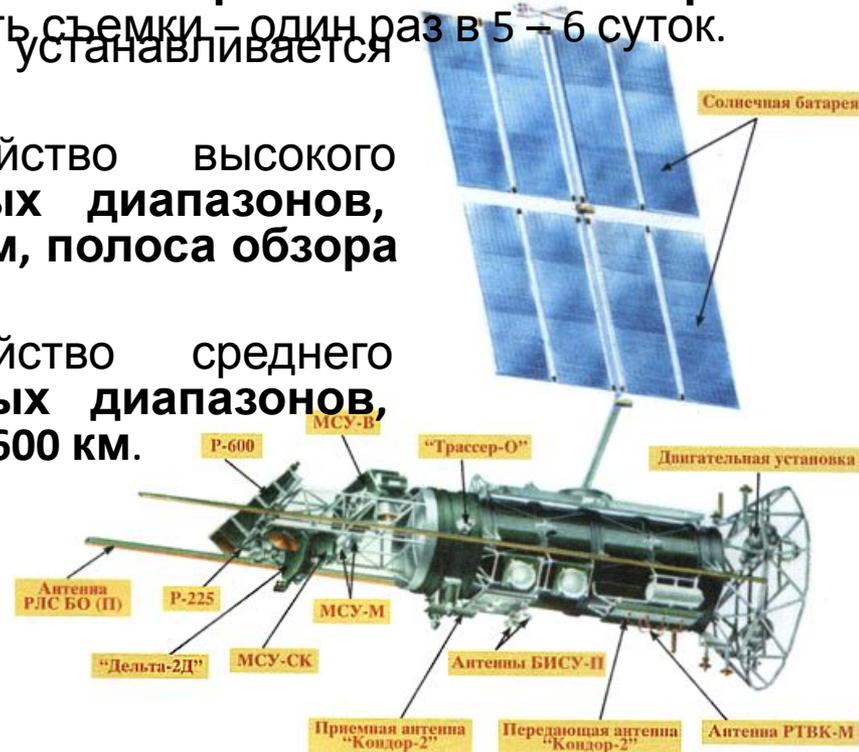
## Океан-О

Космические аппараты **Океан-О** обеспечивают получение **радиолокационных, микроволновых и оптических изображений Земли** в интересах морского судоходства, рыболовства и освоения шельфовых зон Мирового океана.

Космические аппараты **Океан-О** использовались с 1983 по 2008 гг. Это первая в мире оперативная радиолокационная система ДЗЗ. **С помощью радиолокатора РЛС БОП** получается **всепогодная информация** (в условиях облачности в любое время суток).

Работали в течение нескольких лет на **гелиосинхронных околополярных орбитах** высотой 600 – 650 км. Повторяемость съемки – один раз в 5 – 6 суток. На космических аппаратах серии **Океан-О** устанавливается следующая **съемочная аппаратура**:

- Многоканальное сканирующее устройство высокого разрешения **МСУ-В – 8 спектральных диапазонов, пространственное разрешение – до 50 м, полоса обзора – 200 км;**
- многоканальное сканирующее устройство среднего разрешения **МСУ-СК – 5 спектральных диапазонов, разрешение – до 160 м, полоса обзора – 600 км.**
- Радиолокаторы бокового обзора, разрешение – до 800 м, полоса обзора каждого из двух – по 450 км;
- **Сверхвысокочастотные радиометры Р-225, Р-600, Дельта-2Д; разрешение – до 16 км, диапазона измеряемых температур – от 2,7 до 330 К;**



# Спутниковая система метеонаблюдений «Метеор» (СССР, РФ)

Система включает два спутника, находящихся на гелиосинхронных круговых околополярных орбитах высотой 625 – 630 км, плоскости которых пересекаются под углом около 95°, каждый из районов планеты наблюдается с интервалом в 6 часов.

Система действует с 1967 г. с перерывом в 1990-х гг. и середине 2000-х гг. За это время было запущено 26 спутников различных модификаций.

Метеорологическая аппаратура спутника «Метеор» состоит из телевизионной (ТВ), инфракрасной (ИК) и актинометрической (АК) аппаратуры.

ТВ-аппаратура производит съемку облачного покрова на дневной стороне Земли. Съемку ведут две камеры, одна из которых снимает правую, а другая – левую сторону полосы вдоль трассы спутника. Ширина полосы захвата ТВ-камерами ~ 1000 км.

- ИК-аппаратура работает в диапазоне 8 – 12 мкм, используется для наблюдений облачности, в основном, на ночной стороне. Она настроена на регистрацию теплового излучения облаков или поверхности Земли. При наблюдении

- актинометрическая аппаратура регистрирует потоки радиации, уходящей от Земли, в диапазонах 0,3 – 3 мкм, 3 – 30 мкм и 8 – 12 мкм. Полоса обзора – около 2500 км.

Действует сеть наземных пунктов приема, обработки и распространения спутниковой информации, которые размещены по всей территории страны и совмещены с сетью наземных гидрометеорологических наблюдений. Система интегрирована во **Всемирную службу погоды**. Три ее главных центра расположены в Москве, Вашингтоне и Мельбурне. Сюда стекается информация со спутников, наземных измерительных средств, воздушных шаров, зондирующих ракет.



# Космическая система изучения природных ресурсов и мониторинга окружающей среды «Landsat» (США)

Эксплуатация системы Landsat предусматривала поочередный вывод на орбиту спутников с расчетным сроком функционирования несколько лет. Первый из спутников Landsat-1 был запущен в 1972 г., последний на настоящий момент – Landsat-8 – запущен 11 февраля 2013 г. Высота орбиты Landsat 1, 2, 3 – 900 – 920 км, Landsat 4, 5, 7, 8 – 705 км, повторяемость съемки – 1 раз в 16 – 18 дней (за это время спутник покрывает сканерной многозональной съемкой всю поверхность Земли).

Спутники Landsat-1, 2, 3, 4, 5 оснащались мультиспектральными сканерами MSS, производившими снимки в 4-х спектральных диапазонах разрешением 80 м. Улучшенный тематический сканер ETM+, установленный на спутнике Landsat 7, поставляет снимки в 8 спектральных диапазонах с разрешением от 15 до 60 м. На спутнике Landsat-8 установлен оптико-электронный сканер OLI, позволяющий получать панхроматические снимки разрешением 15 м и мультиспектральные снимки (9 зон) разрешением 30 м; тепловой сканер TIRS разрешением 100 м.

Цифровая информация со спутников по радиоканалам передается на наземные пункты приема, которые оборудованы во многих странах мира. Результаты съемок, прошедшие предварительную компьютерную обработку, представляют в цифровом виде. Служба распространения архивированных снимков через сеть Интернет делает их доступными

Спутник Landsat-7:

- 1 – антенны для передачи радиосигнала;
- 2 – калибровочное устройство;
- 3 – многозональный сканер ETM+



# Спутниковая система метеонаблюдений NOAA (США)



- Американские метеоспутники серии NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) запускаются на полярные орбиты высотой порядка 700 км над поверхностью Земли с наклоном  $98,89^\circ$ .
- Космические аппараты NOAA снабжены многозональной оптической и ИК аппаратурой, в т.ч. радиометром высокого разрешения AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), который ведет съемку поверхности Земли в 5 спектральных диапазонах с пространственным разрешением 1,1 км и обеспечивает полосу обзора шириной 2700 км.

# Космическая система изучения природных ресурсов и мониторинга окружающей среды «SPOT» (Франция)

Система SPOT была разработана Национальным центром космических исследований Франции с участием Швеции и Бельгии.

**Система начала функционировать в 1986 г.**, когда был осуществлен запуск спутника SPOT-1. В период с 1990 по 2002 гг. выведены на орбиту спутники SPOT-2, 3, 4, 5. Последний на данный момент спутник SPOT-6 запущен 09.09.2012 г. Сейчас на орбите продолжают функционировать три спутника: SPOT-4, SPOT-5, SPOT-6.

Спутники SPOT-5, SPOT-6 отличаются от предшественников улучшенным разрешением и возможностью осуществлять съемку в **стереорежиме**. Аппараты SPOT работают на солнечно-синхронной орбите высотой 830 км, наклоном 98,7°, повторяемость съемки – 2 – 3 дня, полоса захвата – 60 км.

Съемочная аппаратура SPOT-5 и SPOT-6 включает:

- **две основные камеры**, которые могут вести съемку одновременно и независимо друг от друга и получать **панхроматические снимки разрешением 5 м** (в результате обработки двух изображений достигается разрешение 2,5 м) и **мультиспектральные (три канала) снимки разрешением 10 м**.
- **Инструмент HRS для создания цифровой модели рельефа**. Камеры этого прибора наклонены на 200° вперед и назад, что позволяет получать стереопары изображений поверхности разрешением 5 – 10 м в области 600 км вдоль и 120 км поперек наземной траектории спутника.

Система SPOT включает наземное оборудование для контроля и программирования спутников ДЗЗ и поставки космических снимков потребителям



# Перспективы развития аэрокосмических методов

Космические технологии развиваются быстро: совершенствуются спутники, съемочная аппаратура, технологии съемки и обработки снимков.

**Число стран, развивающих национальные космические программы, неуклонно увеличивается.** Начало было положено в 1957 г. в СССР и США, а затем Франция запустила свой первый спутник для исследования ветров. В Западной Европе в 1973 г. было создано Европейское космическое агентство (ЕКА). Уверенно вошли в мировое космическое сообщество страны Азиатско-Тихоокеанского региона – Япония и Китай, запустившие спутники в 1970 г., Индия в 1980 г., Израиль в 1988 г. Число стран, имеющих свои спутники, непрерывно увеличивается.

Во всем мире наблюдается **тенденция создания спутников-съемщиков двойного назначения** – военного и гражданского, обеспечивающих потребности как национальной безопасности, так и социально-экономического развития стран.

Важное направление совершенствования аэрокосмических методов – **повышение разрешения космических снимков.** Уже решена задача получения снимков с субметровым разрешением, сейчас речь идет о съемках дециметрового разрешения с высоты в несколько сотен километров, что приближает космоснимки к традиционным аэрофотоснимкам, получаемым при высоте полета самолета в несколько километров. Точность определения высотных отметок точек земной поверхности, получаемых с помощью таких снимков, достаточна для создания цифровых моделей рельефа.

**Активно развивается всепогодная радиолокационная съемка.** Сейчас на космических орбитах функционируют радиолокационные спутники различных стран, которые могут поставлять снимки метрового разрешения днем и ночью, в т.ч. при сплошной облачности. Новые возможности открывает также радиолокационная съемка тандемом – двумя спутниками.

# Космические системы нового поколения

Космические системы нового поколения можно разделить на две группы:

- системы, выполняющие съемки для исследования и мониторинга Земли в целом
  - Система глобального мониторинга **EOS** (Earth Observing System, США + партнеры, 1999 – 2015 гг.), предназначена для комплексного планетарного дистанционного изучения Земли как единой системы;
  - Система мониторинга и обеспечения безопасности Земли **GMES** (Global Monitoring for Environment and Security, ЕС), находится в стадии развертывания, к 2014 г. планируется начало полноценного функционирования; для реализации программы ведется разработка пяти типов спутников **Sentinel**, каждый из которых будет осуществлять определенные функции мониторинга Земли.
  - Космическая программа **Radarsat** (Канада, действует с 1995 г., один из центров приема данных находится в Москве) является одной из самых надежных радиолокационных программ в мире и предоставляет всепогодные данные с пространственным разрешением от 8 до 100 м в полосе обзора от 50 до 500 км.
- системы, предназначенные для решения узконаправленных прикладных задач
  - Космическая система агрохозяйственного назначения **Rapid Eye** (Германия, с 2008 г.), включающая пять идентичных спутников, каждый спутник оснащен сканером, выполняющим многозональную съемку с пространственным разрешением 5 – 6 м; спектральные диапазоны, разрешение снимков и частота съемки установлены оптимальными для решения задач сельскохозяйственного и лесного мониторинга.
  - Спутниковые системы **Ikonos** (США, с 1999 г.), **QuickBird** (США, с 2001 г.), осуществляющие детальные панорамные съемки земной

# Космическая система глобального мониторинга EOS (Earth Observing System – система наблюдения Земли)

Программа EOS, реализуемая США совместно со странами-партнерами, предполагает в течение 15 лет всесторонне изучать планету с использованием единой информационной сети EOSDIS для приема, обработки, архивирования, распределения, моделирования и интерпретации спутниковых данных, а также для комплексного планирования работы и управления полетом ИСЗ.

Программа EOS оправдана на комплексное, многосенсорное изучение:

облачного покрова, водного и энергетического баланса;

- динамики, физико-химических и энергетических свойств океана;
- глобального биохимического цикла;
- минеральных и биологических ресурсов;
- гравитационного поля, сейсмоактивности;
- решение задач в области геодезии, картографии.



**Орбитальная группировка (A-train) включает специализированные спутники Terra** (запущен в 1999 г.), **Aqua** (2002 г.), **Aura** (2004 г.), **Parasol** (французский спутник, запущен в 2004 г.), **CloudSat** (американо-канадский спутник, запущен в 2006 г.), и **Calipso** (американо-французский спутник, запущен в 2006 г.). Спутники находятся на околополярной солнечно-синхронной орбите высотой 654 – 686 км с углом наклона 98,2°. Спутники группировки A-train пролетают над каждой точкой земной поверхности с интервалом в несколько минут, что позволяет формировать высокоточную 3D картину земной поверхности и атмосферы.

Каждый из спутников укомплектован несколькими зондами, предназначенными для решения различных задач наблюдения за земной поверхностью, океаном и атмосферой, в т.ч. радиометрами **Aster** (съемка с разрешением 15 – 90 м в 14 спектральных диапазонах + наклонная съемка для получения детальных цифровых моделей рельефа) и **Modis** (съемка с разрешением 250 – 1000 м в 36 спектральных диапазонах)

# Современные отечественные спутниковые системы

В соответствии с Федеральной космической программой России на 2006 – 2015 гг., в настоящее время развиваются следующие спутниковые системы второго поколения:

- **Спутниковая система изучения природных ресурсов и мониторинга окружающей среды**, включающая космические аппараты серий «Ресурс» и «Канопус». В настоящее время запущены и находятся в эксплуатации космические аппараты **Ресурс-ДК 1** и **Канопус-В**.
- **Гидрометеорологическая спутниковая система «Метеор»**, включающая космические аппараты серий **Метеор-М** (полярные) и **Электро-Л** (геостационарные). В настоящее время запущены и находятся в эксплуатации космические аппараты **Метеор-М № 1** и **Электро-Л № 1**. Планируется дальнейшее расширение орбитальной группировки за счет новых гидрометеорологических спутников этих серий.

**Планируется дальнейшее расширение орбитальной группировки за счет новых ресурсных спутников Ресурс-П и Канопус-В, гидрометеорологических спутников Метеор-М и Электро-Л.**

**Разработан проект прецизионной космической съемочной системы «Ковчег»**, рассчитанной на создание геометрически точных геоинформационных продуктов, в частности, топографических и навигационных карт масштаба 1 : 10 000 и крупнее. **Система будет состоять из четырех спутников:** один спутник будет поставлять стереоскопические снимки для цифровых моделей рельефа; другой – сверхдетальные моноскопические снимки для получения содержательной информации, а два других спутника в тандеме должны поставлять интерферометрические пары радиолокационных снимков для картографирования северных территорий, которые

# Российские космические системы изучения природных ресурсов и мониторинга окружающей среды второго поколения

Включает следующие космические аппараты:

- **Ресурс-ДК 1** (назван в честь выдающегося конструктора космических аппаратов Д.И. Козлова (1919 – 2009), запущен 15.06.2006 г.; **Ресурс-П 1**, запущен 25.06.2013 г. Предназначены для ДЗЗ и передачи полученных данных по радиоканалу на наземный комплекс приема, обработки и распространения данных для широкого спектра задач в интересах МПР, Росгидромета, МЧС, Минсельхоза, Росрыболовства и Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии. Аппараты находятся на **круговой солнечно-синхронной орбите**: Ресурс-ДК 1 на высоте 570 км, Ресурс-П 1 – 480 км. В состав бортовой аппаратуры входят **аппаратура высокого детального разрешения** (панхроматический диапазон с разрешением 0,9 м, 2 – 5 спектральных зон разрешением 2 – 4 м, полоса съемки 38 км);



## Ресурс-ДК 1:

- **Мультиспектральная камера** (4 спектральные зоны) с полосой захвата 20 км и разрешением 10,5 м);
- **специальный геофизический комплекс.**

## Ресурс-П 1:

- **Гиперспектральная аппаратура** (до 256 спектральных каналов 0,4 – 1,1 мкм разрешением 30 м, полоса съемки 22 км);
- **Широкозахватная** (до 441 км) **многоспектральная** (5 спектральных зон) **аппаратура** высокого (12 – 23 м) и среднего (60 – 120 м) разрешения.

# Российские космические системы изучения природных ресурсов и мониторинга окружающей среды второго поколения

- **Канопус-В**, входит в состав комплекса малых космических аппаратов для оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций, запущен 22.07.2012 г., Аппарат находится на **круговой солнечно-синхронной орбите** высотой 675 км, наклонение орбиты –  $98,1^\circ$ , используется в паре с аналогичным спутником **БКА** (Беларусь) со сдвигом на  $180^\circ$ . **В состав бортовой аппаратуры входят:**

- **панхроматическая камера** с полосой захвата 23 км и разрешением 2,1 м;
- **мультиспектральная камера** (4 спектральные зоны) с полосой захвата 20 км и разрешением 10,5 м;
- **специальный геофизический комплекс.**





# Спутниковые системы навигации

Предназначены для обеспечения возможности определения местоположения (координат и высоты) объектов на земной поверхности. **Состоят из трёх подсистем:**

- подсистема космических аппаратов;
- подсистема контроля и управления;
- навигационная аппаратура потребителей.

В настоящее время действуют или разворачиваются следующие системы: **GPS (США), ГЛОНАСС (РФ), Galileo (ЕС), Бэйдоу (Китай), IRNSS (Индия), QZSS (Япония) и др.**

Принцип работы – измерение расстояния по времени прохождения радиосигнала от спутников, положение которых известно (совокупность данных о положении всех спутников называется **альманахом**) до антенны на искомом объекте. **Каждый спутник передаёт альманах и точное время, используя атомные часы.** Имея альманах и расстояния до нескольких спутников системы (**не менее 3 для двухмерной навигации и 4 – для трехмерной**), приемник сигнала вычисляет свое положение в пространстве.

**Факторы, осложняющие работу систем спутниковой навигации:**

- Неоднородность гравитационного поля Земли, влияющая на орбиты спутников;
- Неоднородность атмосферы и атмосферные процессы создают помехи в распространении радиоволн;
- Отражения сигналов от наземных объектов (особенно заметно в городе и в горах);
- Невозможность разместить на спутниках передатчики большой мощности, из-за чего приём их сигналов возможен только в прямой видимости спутников.

Вследствие влияния этих факторов **точность определения местоположения обычно составляет не более 10 – 15 м.** Для повышения точности определения применяются:

- наземные системы корректировки (**точность до 10 – 50 см**):

# Спутниковая система навигации GPS (Global Positioning System, США)

Система разработана, реализована и эксплуатируется Министерством обороны США. С 1983 г. доступна для гражданских целей, но с загрузлением точности (до 100 м), в 2000 г. загрузление точности отменено.

Устройства, поддерживающие навигацию на основе GPS, являются самыми распространёнными в мире.

Первый тестовый спутник выведен на орбиту в 1974 г., а последний из 24 спутников, необходимых для полного покрытия земной поверхности, был выведен на орбиту в 1993 г. В настоящее время на орбите функционирует 31 спутник, включая резервные (для увеличения точности позиционирования и резерва на случай аварии).

Спутники распределены между шестью орбитальными плоскостями по 4 аппарата в плоскости. Орбиты спутников круговые высотой 20183 км. Спутник совершает два витка вокруг Земли за одни звёздные сутки.

Слежение за орбитальной группировкой осуществляется с главной контрольной станции на авиабазе ВВС США Schriever (штат Колорадо) и с помощью 10 станций слежения.

В ближайшее время аппараты нынешнего стандарта будут заменены на аппараты версии GPS IIF, более устойчивые к помехам и снабженные более точными атомными часами. Ожидается уменьшение погрешности

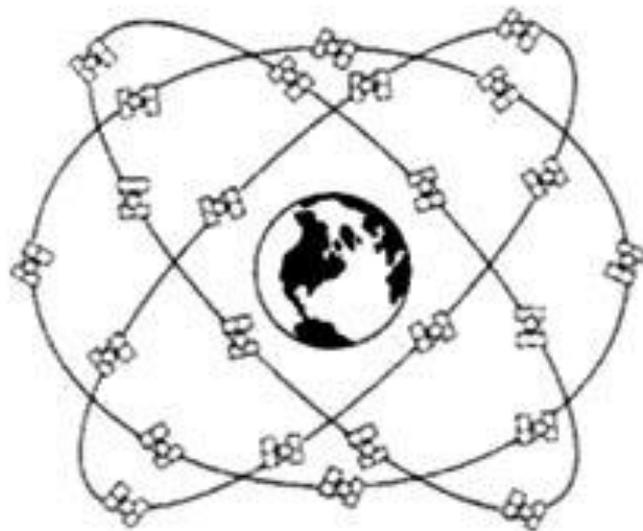


# Спутниковая система навигации ГЛОНАСС (Глобальная Навигационная Спутниковая Система, Россия)

ГЛОНАСС – советская и российская спутниковая система навигации, разработана по заказу Министерства обороны. В настоящее время развитием проекта занимается Федеральное космическое агентство (Роскосмос) и ОАО «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем» («Российские космические системы»).

Первый тестовый спутник «Ураган» выведен на орбиту в 1982 г. В 1995 г. спутниковая группировка развернута до штатного состава – 24 спутника. К 2001 г. число работающих спутников сократилось до 6. Вновь система была полностью развернута к концу 2010 г. в составе 26 новых спутников «Глонасс-М». В настоящее время орбитальная группировка составляет 27 работающих спутников, включая резервы – 24 спутника, распределенные по трем орбитальным плоскостям с наклоном  $64,8^\circ$  и высотой 19 100 км.

Основное отличие от системы GPS – в том, что спутники ГЛОНАСС в своем орбитальном движении не имеют синхронности с вращением Земли, что обеспечивает им большую стабильность. Однако срок службы спутников ГЛОНАСС и точность определения координат отстают от аналогичных показателей для GPS. Предполагается, что после перевода в рабочее состояние двух спутников коррекции сигнала системы «Луч» точность навигации возрастет. Начаты работы по размещению станций дифференциальной коррекции и мониторинга для повышения точности и надёжности работы системы



по трем орбитальным плоскостям



# Предварительная обработка и хранение материалов космической съёмки

В последние десятилетия основной поток спутниковой видеоинформации поступает от оптико-электронных сканеров и радиолокаторов. Видеоинформацию со спутников регистрируют **наземные станции приема**, (в мире их насчитывается несколько сотен), они же выполняют ее **предварительную обработку**:

- **Первоначальная обработка**: производится **разделение изображения земной поверхности и служебной вспомогательной информации** (о движении и ориентации космического аппарата, режимах работы съемочной аппаратуры и т. п.), поступающих единым потоком, устранение помех и сбоев передачи информации по радиоканалу;

- **Средняя обработка**: производится **радиометрическая и геометрическая коррекция** видеоинформации, в результате которой получают **«сырой» цифровой снимок** (в определенном формате, в единицах яркости в условной шкале, без приведения в картографическую проекцию);

- **Высокая обработка**: предусматривает улучшение изобразительных и геометрических свойств «сырых» снимков с учетом параметров съемочной аппаратуры и орбитальной информации, **трансформирование перспективных снимков и их географическая привязка**, возможны радиометрические преобразования (пересчет значений яркости из условных величин в энергетические единицы).

Видеоинформация, прошедшая предварительную обработку, архивируется и снабжается **каталогом метаданных (набор служебной информации о снимке)** для каждого снимка, а также его уменьшенной копией – **квиклуком** (от англ. quick look )



# Каталоги аэрокосмической информации

- **Каталог Геологической службы США – USGS Global Visualization Viewer**, содержит снимки систем Landsat, EOS (радиометры Aster, Modis): <http://glovis.usgs.gov>
- **Каталог Аэрокосмического агентства США – NASA Applied Science and Technology Project Office**, содержит многоканальные снимки LANDSAT 4, 5, 7 с разрешением 28,5 – 30 м (1990-е гг.) и 15 м (2000-е гг.) и собранные из них мозаики: <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl>
- **Каталог Университета Мэрилэнда – Global Land Cover Facility (GLCF)**, содержит снимки систем Landsat, Ikonos, Quickbird, EOS (радиометры Aster, Modis), SRTM (радиолокационная съемка): <http://glcf.umd.edu/index.shtml>
- **Каталог российской фирмы СканЭкс** – содержит космоснимки различных систем (США, Россия, Франция, Канада и др.): <http://catalog.scanex.ru>
- **Каталог ФГБУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета»**  
<http://planet.iitp.ru/index.html>

# Физические основы аэрокосмического мониторинга

**Объект исследований.** Аэрокосмические методы позволяют прямо или косвенно получать только ту информацию об объекте исследований, которая заложена в особенностях идущего от него собственного или отраженного излучения.

**Аэрокосмические снимки.** Качество и информативность получаемого снимка зависит от конструктивных особенностей съемочной системы, параметров использованного излучения и биогеофизических свойств снимаемого объекта.

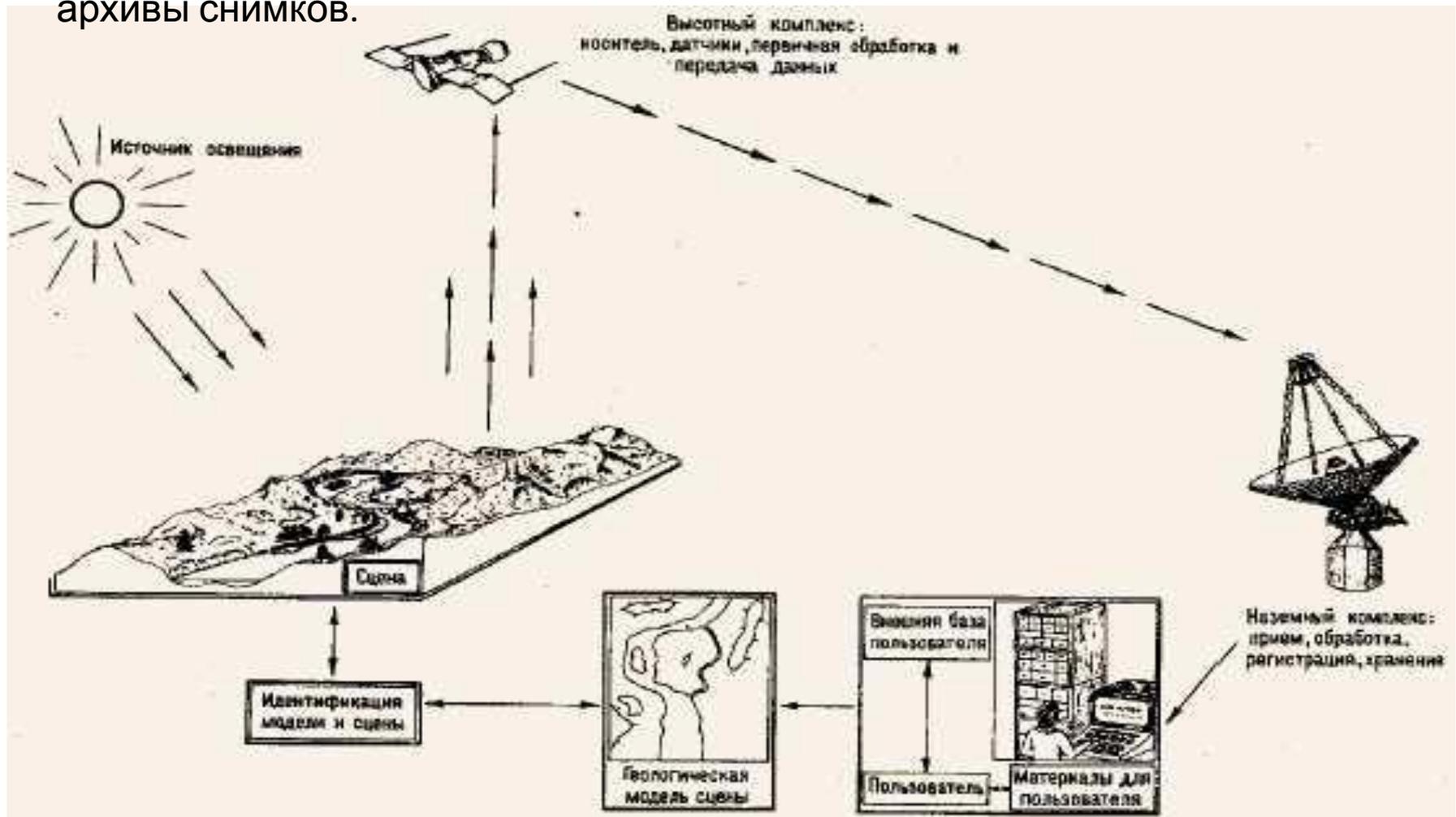
По природе регистрируемого излучения аэрокосмические съемки делят на:

- **Пассивные** – предусматривают регистрацию отраженного солнечного или собственного излучения Земли,
- **Активные** – производится регистрация отраженного искусственного излучения.

# Принципиальная схема ДЗЗ

Спутниковые системы дистанционного зондирования включают:

- группировки космических аппаратов на орбите;
- центры управления полетом и съемкой;
- наземные пункты приема информации, спутники-ретрансляторы;
- центры первичной обработки, хранения и распространения информации, архивы снимков.



# Спектр электромагнитного излучения

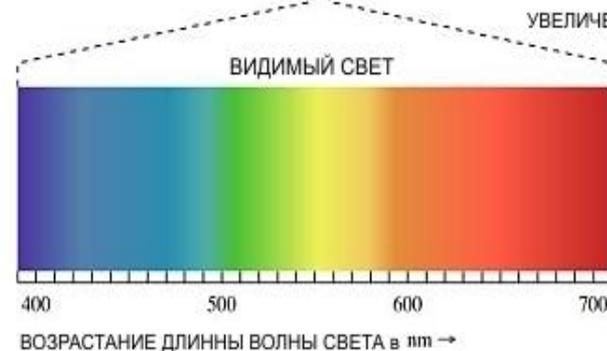
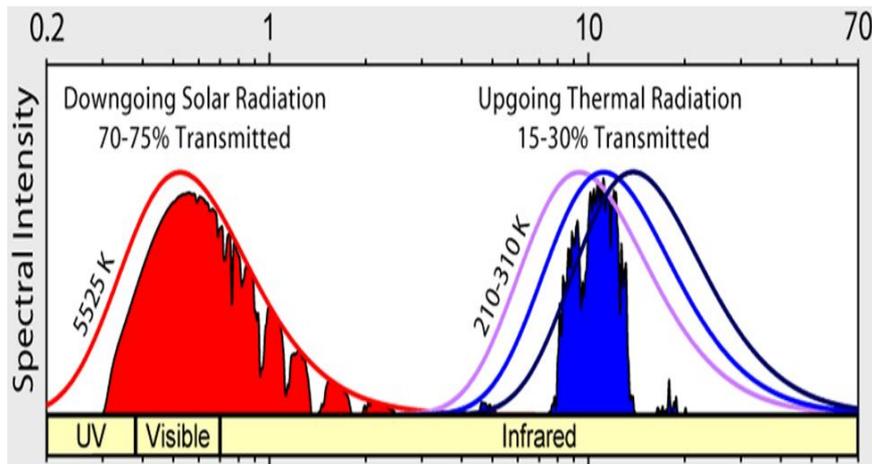
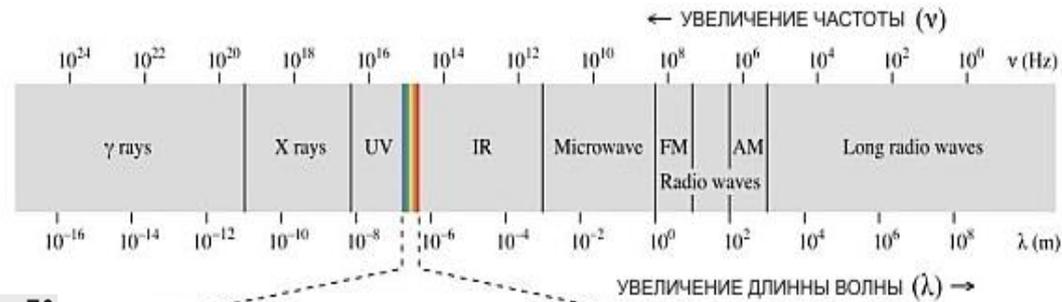
– последовательность электромагнитных волн, классифицированная по их длинам (частотам).

Большинство современных аэрокосмических методов основано на использовании:

- **Оптических волн:**

- **ультрафиолетовые**  $\lambda = 0,001 - 0,4$  мкм;
- **видимый свет**  $\lambda = 0,4 - 0,8$  мкм – 7 различными глазом цветовых зон;
- **инфракрасные:**
  - ближние  $\lambda = 0,8 - 1,3$  мкм;
  - средние  $\lambda = 1,3 - 3$  мкм;
  - дальние  $\lambda = 3$  мкм – 1 мм;

- **Ультракоротких радиоволн**  $\lambda = 1$  мм – 3 м.



**Чем сильнее нагрето тело, тем выше частота его излучения**

# Солнечное излучение и его отражение объектами земной поверхности

Солнечное излучение – главный естественный источник освещения земной поверхности. Основная энергия излучения приходится на волны  $\lambda = 0,3 - 3$  мкм, максимум – на волны  $\lambda \approx 0,5$  мкм.

Отраженное солнечное излучение представляет наибольший интерес для аэрокосмического изучения объектов суши по их **оптическим характеристикам**.

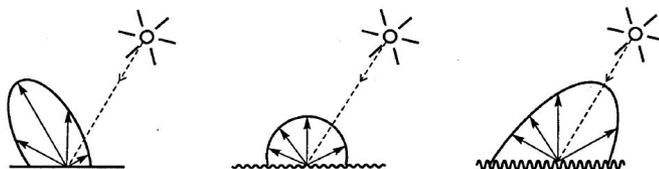
**Оптические характеристики объектов** (получаются экспериментально – с помощью спектрометрирования)

Коэффициенты интегральной яркости некоторых объектов (видимый диапазон)

Объект	$r^*$	Объект	$r^*$
Снег свежеснеженный	1,00	Лес лиственный	0,07
Лед речной	0,30	Лес хвойный	0,05
Вода	0,03	Луг суходольный	0,07
Песок кварцевый	0,20	Дороги грунтовые на суглинке и песке	0,20
Почва серая лесная	0,15	Дороги грунтовые на черноземе	0,08
Почва чернозем	0,03	Шоссе	0,30

- **Коэффициент интегральной яркости** – отношение яркости рассматриваемого объекта к яркости абсолютно белой матовой поверхности. Для одного и того же объекта коэффициент не строго постоянен, а может меняться в определенных пределах **в зависимости от рельефа и условий освещения**.

- **Индикатриса отражения** – совокупность коэффициентов яркости объекта по разным направлениям отражения. Различают **зеркальную** (спокойная водная поверхность, ледяной покров, накатанные грунтовые дороги), **ортотропную** (слабошероховатые поверхности), **вытянутую к источнику света** (вспаханная почва, заросли тростника).



- **Коэффициент спектральной яркости** определяет яркость объектов в отдельно взятых зонах спектра. Их значения для различных длин волн представляют в форме **кривой спектральной яркости**. На знании яркости объектов в разных спектральных зонах основано их распознавание на снимках (дешифрирование).

# Спектральная отражательная способность природных объектов

По спектральной яркости в видимом диапазоне, где получен наибольший объем экспериментальных данных, все объекты земной поверхности отчетливо делятся на несколько классов:

- **Горные породы и почвы** характеризуются увеличением коэффициентов спектральной яркости по мере приближения к красной зоне спектра.
- **Растительный покров** отличается характерным максимумом отражательной способности в зеленой, минимумом – в красной и резким увеличением отражения в ближней инфракрасной зоне, что связано с поглощением и отражением этих лучей хлорофиллом.
- **Водные поверхности** характеризуются самыми низкими значениями и монотонным уменьшением отражательной способности от сине-фиолетовой к красной зоне спектра, т.к. более длинные волны сильнее поглощаются водой.
- **Снежный покров** обладает наиболее высокой спектральной яркостью с небольшим ее понижением в ближней инфракрасной зоне спектра. Близки к этому классу **облака**, которые имеют несколько узких полос поглощения в длинноволновой части спектра.

Общими для всех объектов являются **понижение яркости в зоне 2 – 3 мкм** и **два минимума при  $\lambda = 1,43$  и  $1,93$  мкм**, обусловленные полосами поглощения атмосферной воды



# Характеристики собственного излучения Земли

Максимум энергии земного излучения приходится на инфракрасные лучи с  $\lambda \approx 10 - 12$  мкм. Собственное излучение Земли подразделяется на:

- **Инфратепловое (дальнее инфракрасное) излучение** – определяется температурой поверхности;

В соответствии с законом Стефана-Больцмана, интенсивность теплового излучения различных поверхностей резко возрастает с повышением их температуры.

**Закон Стефана-Больцмана:**  $M_\lambda = \sigma T^4$   
где  $T$  – абсолютная температура,  $\sigma = 5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$

Своеобразный характер спектральной излучательной способности у некоторых объектов открывает возможность идентификации:

- **Температуры различных поверхностей** (тепловая съемка): по температурным контрастам удается выделять вулканы, течения в океане, зоны подземных пожаров, контролировать состояние энергетических и ирригационных систем и т.д.
  - **Влажности поверхности**, которая обусловлена ее охлаждением при испарении воды.
  - Конвективного теплового потока из недр Земли, который нередко связан с тектоническими нарушениями.
- **Радиотепловое излучение** – определяется электрическими свойствами (т.е. влажностью и соленостью) и в меньшей степени температурой

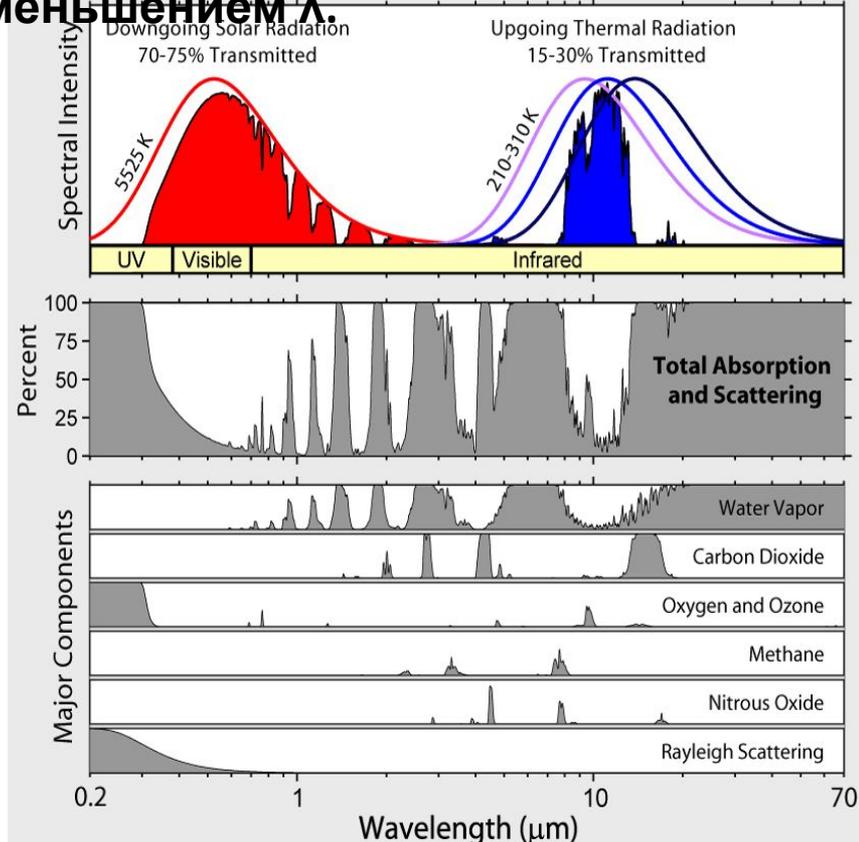
# Влияние атмосферы на прохождение отраженного (коротковолнового) и теплового (длинноволнового) излучения

Земная атмосфера – важнейший объект самостоятельных исследований и, в то же время, основной источник помех и искажений при изучении земной поверхности.

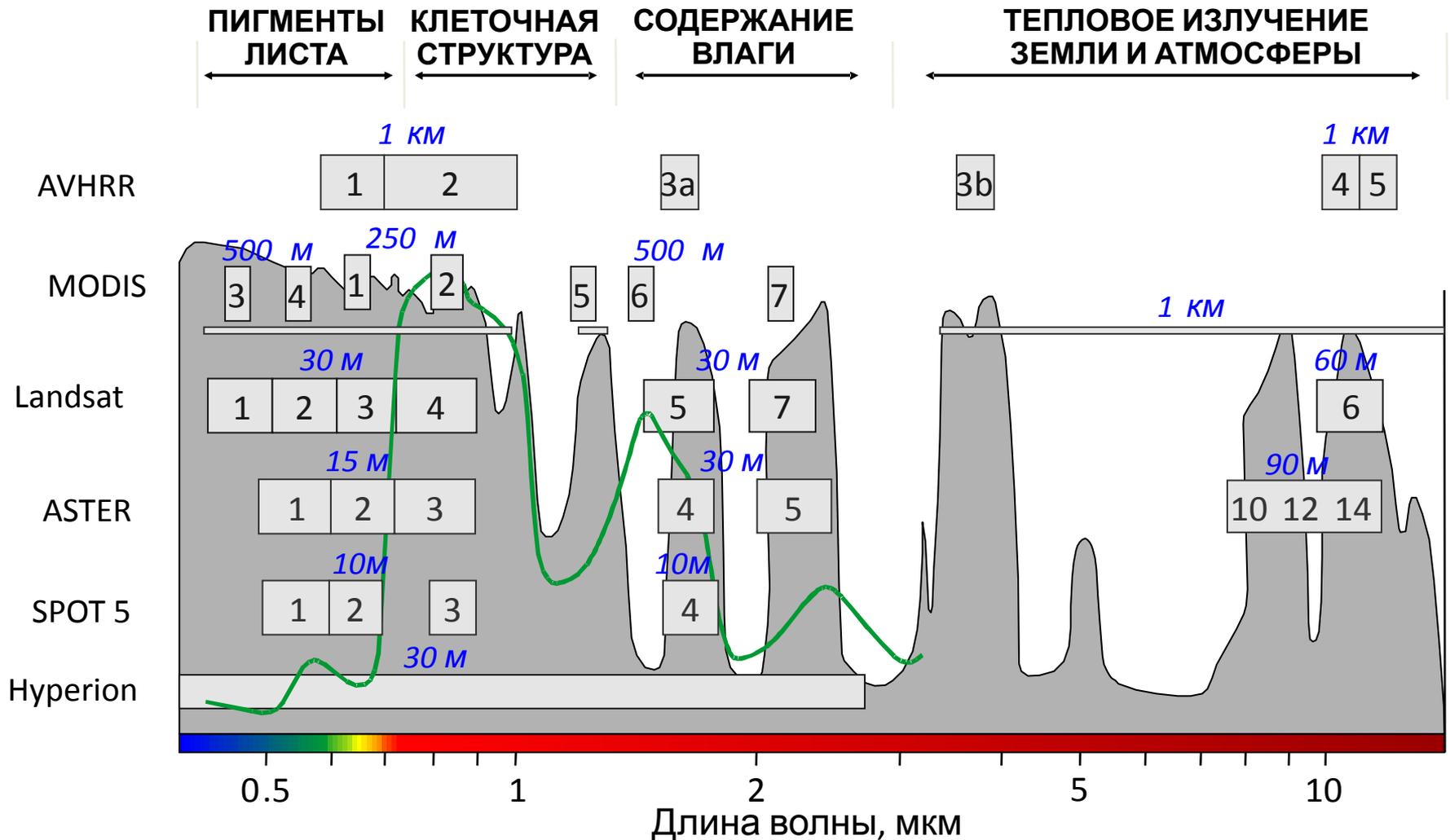
- **Облака.** Даже маломощные облака блокируют все оптическое излучение. Их преодолевают только радиоволны  $\lambda > 2$  см.
- **Ослабление излучения в атмосфере** вследствие его рассеяния и поглощения. Сильно увеличивается с увеличением длины пути лучей в атмосфере. Излучение избирательно поглощается  $H_2O$ ,  $O_3$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$  и др. **Интенсивность** атмосферная рефракция (искривление лучей) обусловлена различными свойствами слоев атмосферы => искажение направления лучей, которое учитывается при точных фотограмметрических измерениях.

**Окна прозрачности атмосферы** – области спектра, где коэффициент прозрачности достаточно велик:

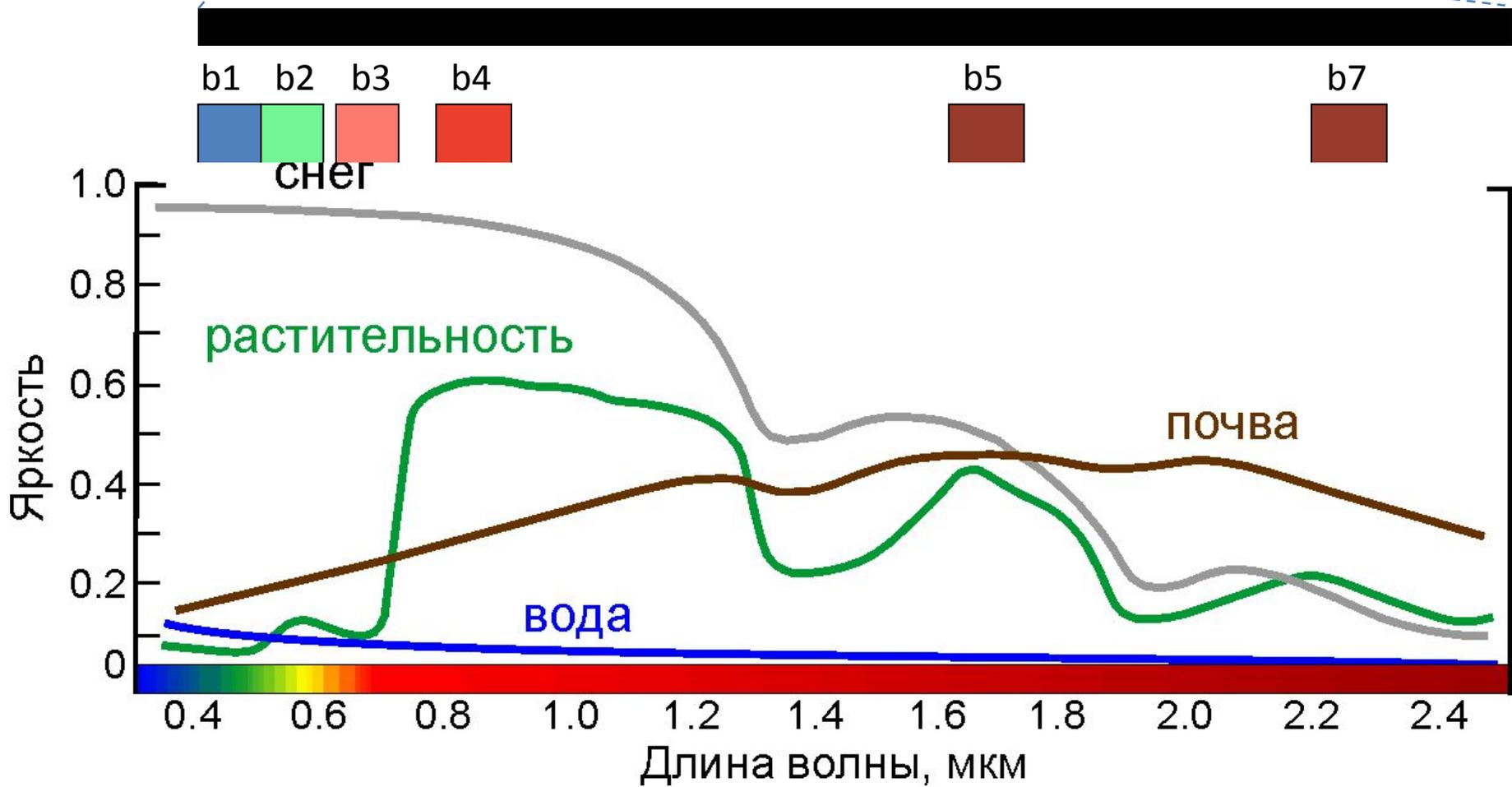
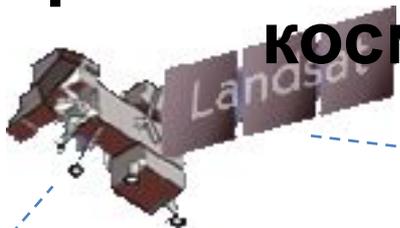
- Видимый + ближние УФ и ИК диапазоны ( $\lambda = 0,3 - 1,3$  мкм) – наибольшее практическое значение;
- Два окна в тепловом инфракрасном диапазоне ( $\lambda = 3 - 5$  и  $8 - 14$  мкм).
- Большое окно прозрачности в зоне 50 мкм, пока не используется.
- Радиоволновой диапазон ( $\lambda = 1$  мм – 10 м). Метровые радиоволны беспрепятственно проходят всю толщу атмосферы =>



# Спектральная яркость растительности, «окна прозрачности» атмосферы и спектральное разрешение некоторых средств ДЗ



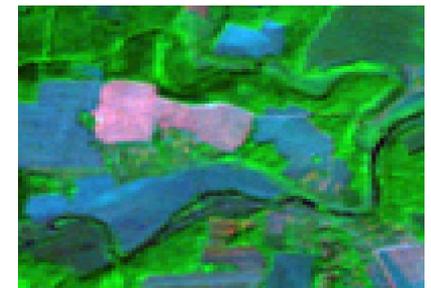
# Кривые спектральной яркости различных поверхностей и спектральное разрешение космоснимков Landsat



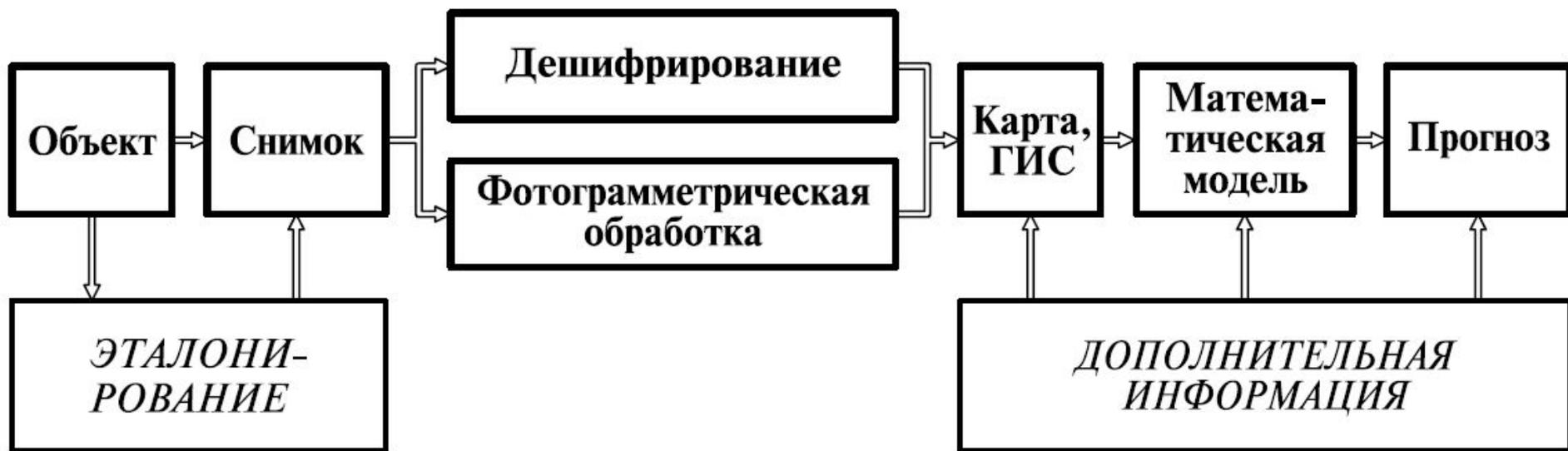
# Примеры дешифрирования различных территорий

на синтезированных многозональных изображениях

	ИСТИННЫЙ ЦВЕТ	ЛОЖНЫЙ ЦВЕТ (ближний ИК)	КОРОТКОВОЛНОВОЙ ИНФРАКРАСНЫЙ
	Красный: Band 3 Зеленый: Band 2 Синий: Band 1	Красный: Band 4 Зеленый: Band 3 Синий: Band 2	Красный: Band 7 Зеленый: Band 4 Синий: Band 2
<b>ДЕРЕВЬЯ И КУСТАРНИКИ</b>	Оливковый зеленый	<b>Красный</b>	Оттенки зеленого
<b>ЗЕРНОВЫЕ КУЛЬТУРЫ</b>	От зеленого до светло-зеленого	<b>От розового до красного</b>	Оттенки зеленого
<b>ВЛАЖНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ</b>	От темно-зеленого к черному	<b>Темно-красный</b>	Оттенки зеленого
<b>ВОДА</b>	Тона голубого и зеленого	Оттенки синего	Черный – темно-синий
<b>СЕЛИТЕБНЫЕ ТЕРРИТОРИИ</b>	От белого к светло- голубому	От голубого к серому	<b>Бледно-лиловый цвет</b>
<b>ОТКРЫТЫЕ ПОЧВЫ</b>	От белого к светло- серому	От голубого к серому	<b>Красный, бледно- розовый</b>



# Технологическая схема исследований с использованием аэрокосмических снимков



# Объект исследований и его отображение на аэрокосмоснимке

**Объект исследований.** Аэрокосмические методы позволяют прямо или косвенно получать только ту информацию об объекте исследований, которая заложена в особенностях идущего от него собственного или отраженного излучения.

**Аэрокосмические снимки.** Качество и информативность получаемого снимка зависит от конструктивных особенностей съемочной системы, параметров использованного излучения и биогеофизических свойств снимаемого объекта.

По природе регистрируемого излучения аэрокосмические съемки делят на:

- **Пассивные** – предусматривают регистрацию отраженного солнечного или собственного излучения Земли,
- **Активные** – производится регистрация отраженного искусственного излучения.

# Методы получения геоинформации по снимкам

Необходимая для географических исследований информация (предметно-содержательная и геометрическая) извлекается из снимков двумя основными методами – это **дешифрирование** и **фотограмметрические измерения**. При этом широко применяются профессиональные компьютерные программные продукты, среди которых в России наиболее известны **ERDAS Imagine, Er Mapper, ENVI, PHOTOMOD, Панорама** и др.

- **Дешифрирование** – процесс обработки аэрокосмоснимков, направленный на **идентификацию объектов и явлений на снимке** (т.е. что изображено на снимке). Позволяет получать предметную, тематическую (в основном, качественную) информацию об изучаемом объекте или процессе, его связях с окружающими объектами.
- **Фотограмметрическая обработка** позволяет определять по снимкам плановое и пространственное положение объектов и производить их изменение во времени (т.е. где находится изучаемый объект и каковы его геометрические характеристики: размер, форма).

# Методы дешифрирования снимков

Полнота и достоверность информации, извлекаемой из снимка, зависит от уровня географической подготовки дешифровщика.

- **Визуальное дешифрирование** – на основе ряда признаков идентифицируются различные объекты, выделяются однородные объекты.
- **Компьютерное дешифрирование** – основано на спектральных признаках (набор спектральных яркостей, зарегистрированных многозональным снимком). Формальная задача компьютерного дешифрирования снимков сводится к **классификации – последовательной «сортировке» всех пикселей цифрового снимка на несколько групп**. Для этого предложены алгоритмы классификации двух видов:
  - **Классификация с обучением** – пиксели многозонального снимка группируются на основе сравнения их яркостей в каждой спектральной зоне с эталоном.
  - **Классификация без обучения (кластеризация, cluster** – скопление, группа) – все пиксели автоматически разделяют на группы-кластеры по какому-либо формальному признаку, не прибегая к обучающим данным; затем эти кластеры дешифровщик относит к тем или иным объектам.

**Достоверность компьютерного дешифрирования** формально характеризуется отношением числа правильно классифицируемых пикселей к их общему числу и составляет в среднем 70 – 85%, падая с увеличением набора дешифрируемых объектов. **Достижения в области полной автоматизации дешифрирования пока скромны**. Компьютерное дешифрирование обеспечивает решение самых простых классификационных задач; оно **включается в качестве элемента в сложный процесс визуального дешифрирования**, которое пока остается основным методом извлечения географической информации из аэрокосмических снимков.

# Эталонирование

Получить посредством дешифрирования или фотограмметрической обработки необходимые характеристики изучаемого объекта только по снимкам без каких-либо натуральных определений в большинстве случаев невозможно.

**Эталонирование снимков** – яркостная или геометрическая калибровка снимков на основе натуральных наблюдений:

- **Яркостная (радиометрическая или фотометрическая) калибровка** необходима для спектрометрических определений по многозональному снимку
- **Геометрическая калибровка** необходима для получения размеров объектов фотограмметрическим способом

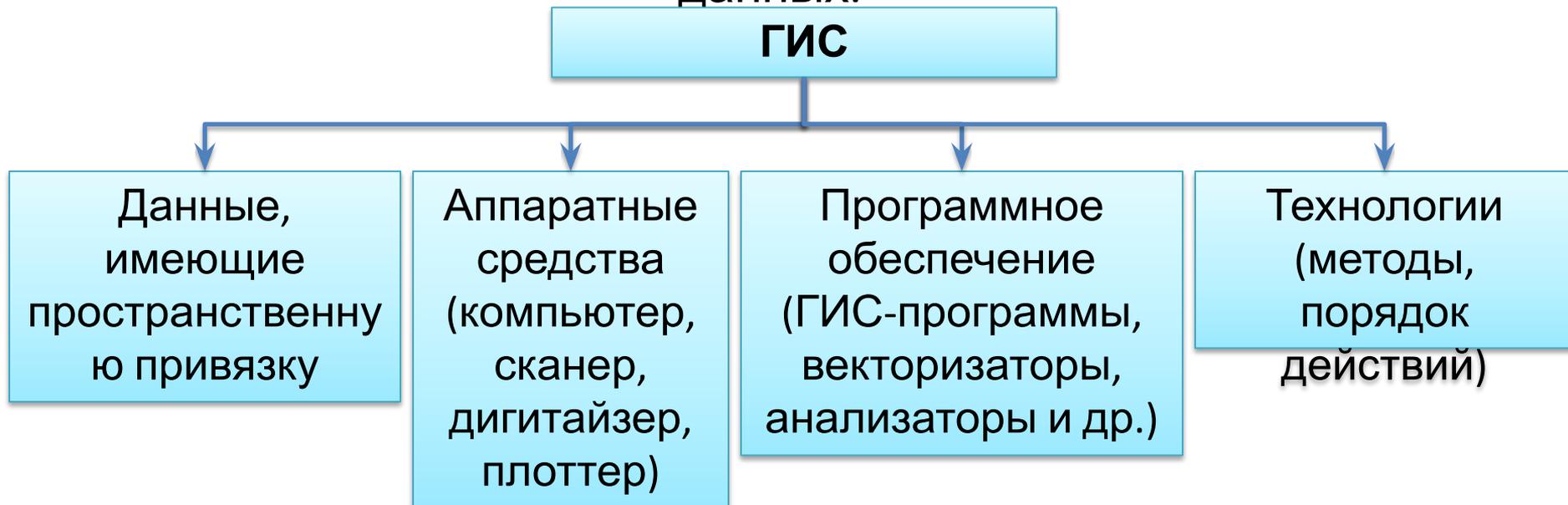
Процедура получения и учета калибровочной информации составляет необходимый элемент технологической схемы аэрокосмических исследований. Эта информация обязательна для любой обработки снимков, хотя объем ее бывает различным; чем выше требуемая точность определений по снимкам, тем он значительнее.

Принято различать **абсолютную и относительную калибровку**. При обработке одиночных снимков ограничиваются относительной калибровкой, а для нескольких, например многозональных, желательна их абсолютная калибровка.

# Географическая информационная система (ГИС)

– совокупность аппаратно-программных средств и алгоритмических процедур, предназначенных для сбора, ввода, хранения, математико-картографического моделирования и образного представления пространственной информации.

– система сбора, обработки, графического представления (визуализации) и анализа пространственно распределенных данных.



# Программное обеспечение

Ключевыми компонентами программных продуктов, предназначенных для работы с ГИС, являются:

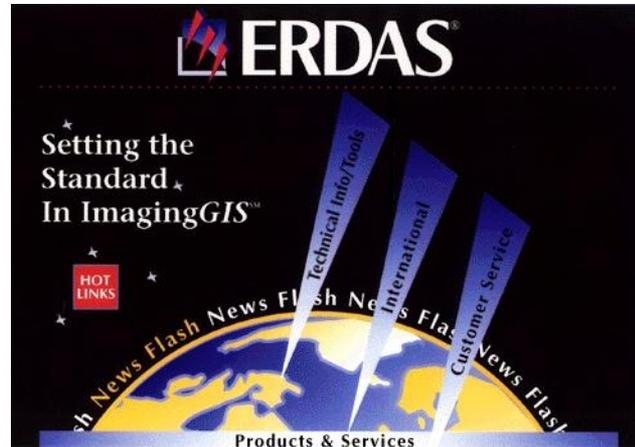
- инструменты для ввода и оперирования географической информацией;
- система управления базой данных (СУБД);
- инструменты поддержки пространственных запросов, анализа и визуализации (отображения);
- графический пользовательский интерфейс для легкого доступа к инструментам и визуализации результатов.

Рынок программного обеспечения для работы с ГИС охватывает около 50 различных продуктов. Наибольшее распространение в России получили следующие программные пакеты:

- **ArcGIS** компании Environment System Research Institute (ESRI, США, официальный представитель в России – компания Data+)
- **MapInfo Professional** компании Pitney Bowes MapInfo (США, официальный представитель в России – компания ESTI MAP)
- **ГеоГраф ГИС**, разработчик – Центр геоинформационных исследований ИГ РАН (Россия)
- **GeoMedia** – корпорации Intergraph (США)
- **ERDAS Imagine** – корпорации Intergraph (США)

# ERDAS Imagine

– растровый графический редактор, предназначенный для обработки данных дистанционного зондирования Земли.



ERDAS Imagine служит для работы с растровыми данными. Он позволяет выводить на экран монитора, обрабатывать и подготавливать для дальнейшей работы в программных приложениях ГИС и САПР аэрокосмические изображения (полная совместимость с программными пакетами от ESRI).

ERDAS Imagine – широко используемое во всём мире решение, ставшее эталоном в сфере обработки и анализа данных дистанционного зондирования Земли.

# ERDAS Imagine



ERDAS Imagine первоначально разработан компанией ERDAS Inc. (США) в 1978 г. (назывался ERDAS 4)

С 2001 г. продукт поддерживался компанией Leica Geosystems AG (Швейцария)

В настоящее время программный продукт выпускает и поддерживает корпорация Intergraph (США).

<http://geospatial.intergraph.com>

В России официальным дистрибьютером является ООО «НАВГЕОКОМ»

<http://erdas-russia.ru/resources/files/>

Текущая версия продукта: ERDAS Imagine 13.00.0001 (04.02.2013 г.)

# ERDAS Imagine

ERDAS Imagine поддерживает следующие процессы обработки растровых графических изображений:

- перевод данных из одного формата в другой;
- Ортотрансформирование (коррекция геометрических ошибок и искажений, вызванных рельефом, условиями съемки и типом камеры, т.е. перепроецирование объектов в их реальные координаты);
- географическая привязка;
- составление мозаики из изображений;
- получение стереоизображений;
- спектральный анализ;
- сравнение разномоментных снимков для фиксации произошедшие на местности изменений;
- извлечение из снимков точечных, линейных и полигональных объектов;
- автоматическое извлечение качественных и количественных географических данных;
- создание цифровых моделей рельефа и их анализ;

# Данные

– наиболее важный компонент ГИС

Главной особенностью ГИС является способность связывать картографические объекты (т.е. объекты, имеющие форму и местоположение на земной поверхности) с атрибутивными данными (описательной информацией, относящейся к этим объектам и описывающей их свойства). В простейшем случае каждому картографическому объекту ставится в соответствие строка таблицы (запись в базе данных) с атрибутивной информацией.

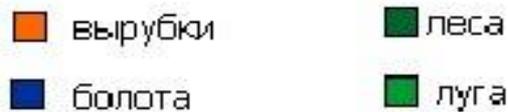
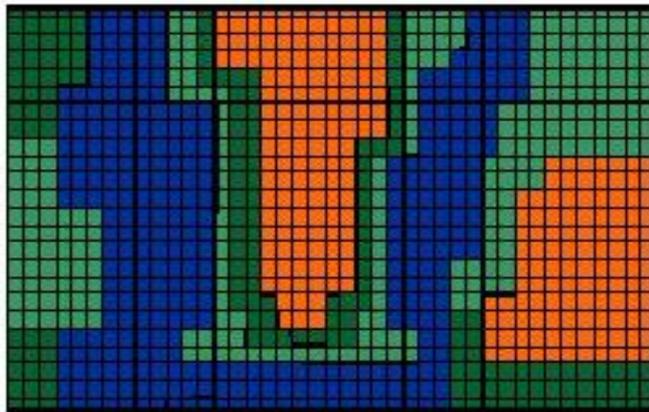
## Типы данных в ГИС

- **Позиционные (географические) данные** – включают информацию о пространственном размещении, представляется с помощью координат в географически соотнесенной системе координат (широта/долгота)
- **Атрибутивные данные** – являются описательной информацией пространственных объектов, включают различные количественные и качественные характеристики.

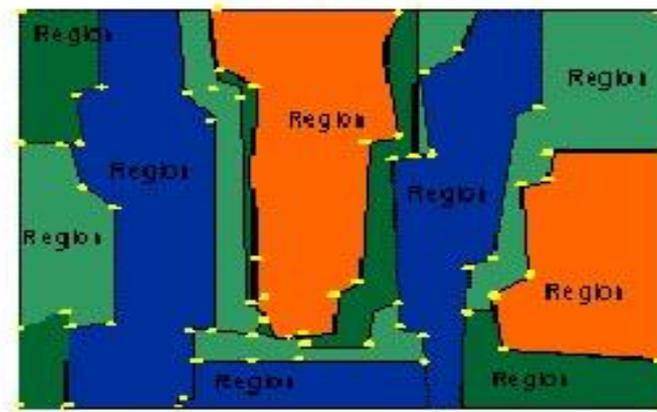
# Способы представления пространственных объектов на изображении

- **Растровая модель:** представляет собой набор значений для каждой из элементарных ячеек (пикселей), на которые равномерно разбито все рассматриваемое пространство.
- **Векторная модель:** информация о точках, линиях и полигонах кодируется и хранится в виде набора координат X, Y.

**растровый вид**



**векторный вид**



Современные ГИС могут работать как с векторными, так и с растровыми моделями.

# Растровая графика

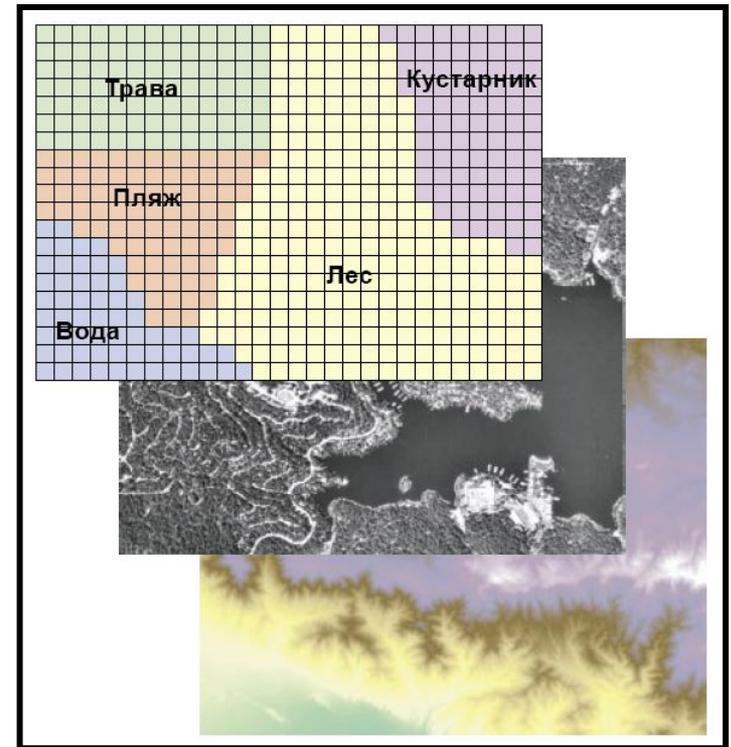
**Растровое изображение** (растр) – изображение, представляющее собой двумерную регулярную сеть (матрицу) точек – элементарных ячеек (**пикселей**) различных цветов, которые образуют строки и столбцы.

Важными характеристиками растрового изображения являются:

- **количество пикселей** – может указываться отдельно количество пикселей по ширине и высоте (1024×768, 640×480 и т. п.) или же общее количество пикселей;
- **количество используемых цветов;**
- **цветовая модель** – RGB, CMYK и др.;
- **разрешение** – минимальный размер объекта, отображаемого на изображении (может выражаться в точках на дюйм – dpi, в единицах расстояния – диаметр объекта)

Создается растровая графика фотоаппаратами, сканерами, непосредственно в растровом редакторе, также путем экспорта из векторного редактора или в виде снимков экрана.

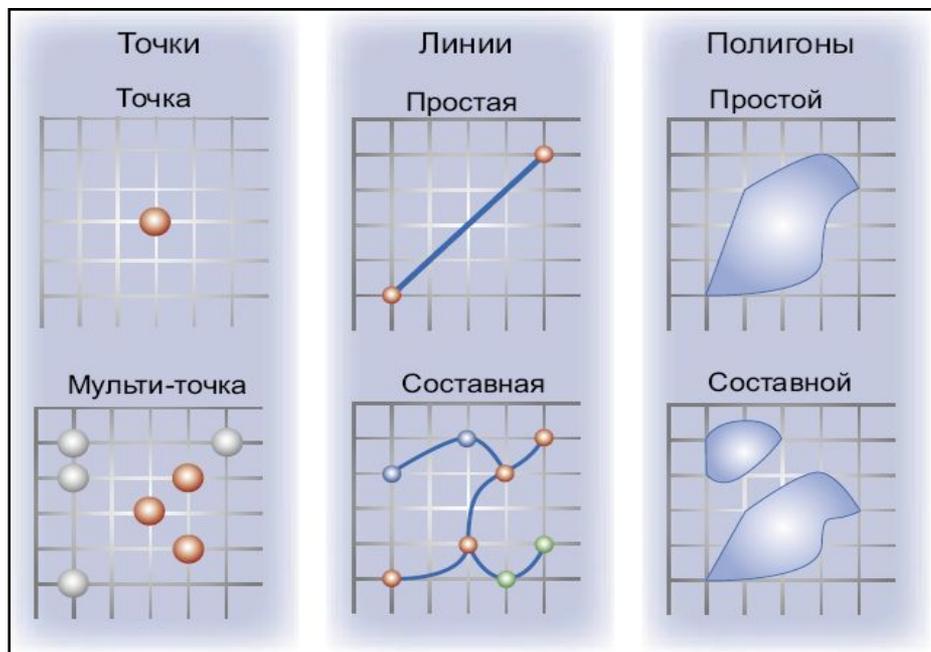
Растровую графику редактируют с помощью растровых графических редакторов (Adobe Photoshop, Corel PhotoPaint и др.).



# Векторная графика

**Векторная графика** – способ построения изображения, основанный на использовании сочетаний элементарных геометрических объектов (точек, линий, полигонов), которые описываются двухмерными координатами и математическими функциями.

Векторная графика идеальна для простых или составных рисунков, которые должны быть аппаратно-независимыми или не нуждаются в фотореализме – например, для общегеографических карт.

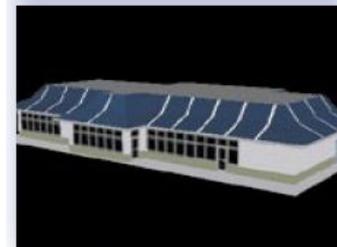


*Различные  
виды  
векторных  
объектов*

Аннотация



3D Мульти-патч



Векторную графику редактируют с помощью векторных графических редакторов (Corel Draw, Adobe Illustrator, Inscapе и др.).

# Преимущества растровой и векторной моделей территории

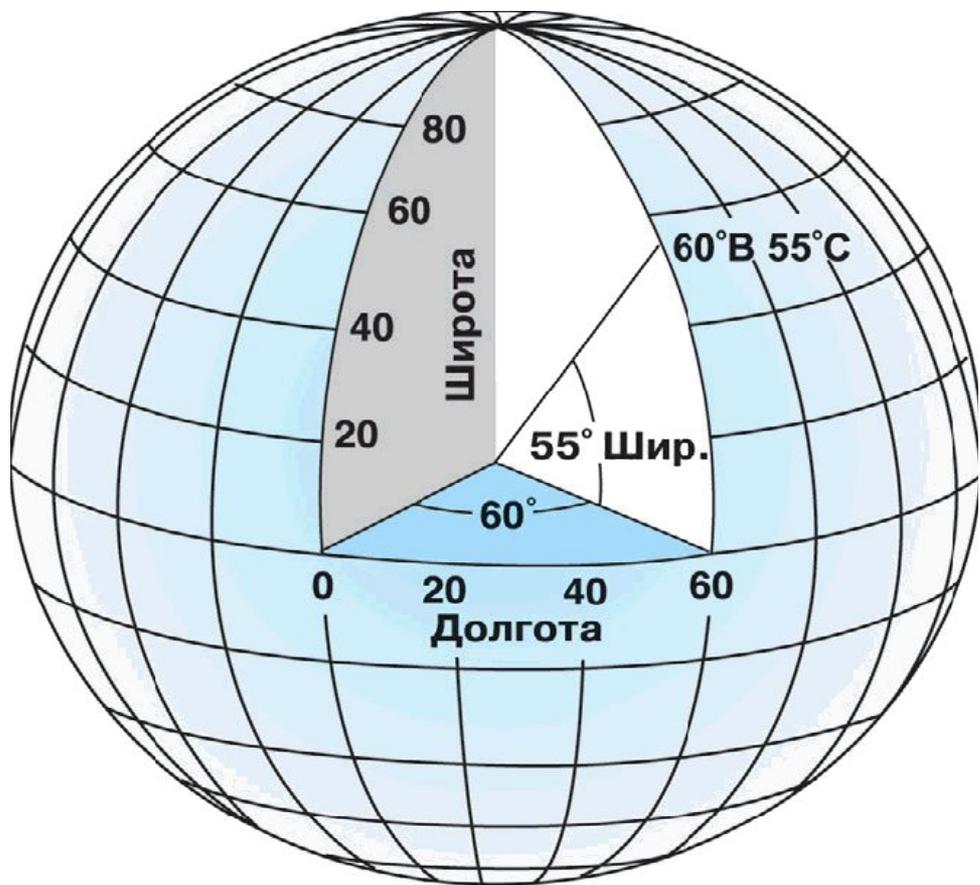
## Растровая модель

- Простая структура данных;
- Оптимальное отображение объектов, не имеющих четких границ, постепенно меняющихся в пространстве, в отличие от векторной модели, где невозможно точно передать эффект перехода от одного цвета к другому;
- Эффективные операции наложения слоев;
- Универсальность форматов, в которых сохраняются растровые изображения. Наиболее распространенные из них (такие как .jpeg, .tiff, .bmp) можно просматривать и редактировать практически в любой графической программе.

## Векторная модель

- Компактная структура данных;
- Оптимальное отображение дискретных (отдельно расположенных индивидуальных) объектов;
- Топология – определение и кодирование взаимосвязей между точечными, линейными и площадными объектами;
- Качественная графика, не зависящая от масштаба.

# Географическая система координат



***Географическая  
система координат***

Определяет положение точки на поверхности Земли.

- Использует трехмерную сферическую поверхность.
- Включает **сферические координаты**, выражаемые в угловых единицах измерения (широта, долгота), **нулевой меридиан** и **датум**.
- Положение объекта на земной поверхности однозначно определяется

# Датум

**Датум** – это набор параметров и контрольных точек, используемых для точного задания эллипсоида, аппроксимирующего форму Земли (**референц-эллипсоида**).

Датум включает следующие параметры референц-эллипсоида:

- положение по отношению к центру Земли;
- размеры большой и малой полуоси;
- начало отсчета координат на поверхности эллипсоида и ориентация линий широты и долготы.

## Параметры эллипсоида



Экваториальная ось  
(большая полуось)

$a$  - большая полуось

$b$  - малая полуось

$f$  - коэффициент сжатия

$$f = (a - b) / a$$

# Геоцентрический и локальный

## датумы

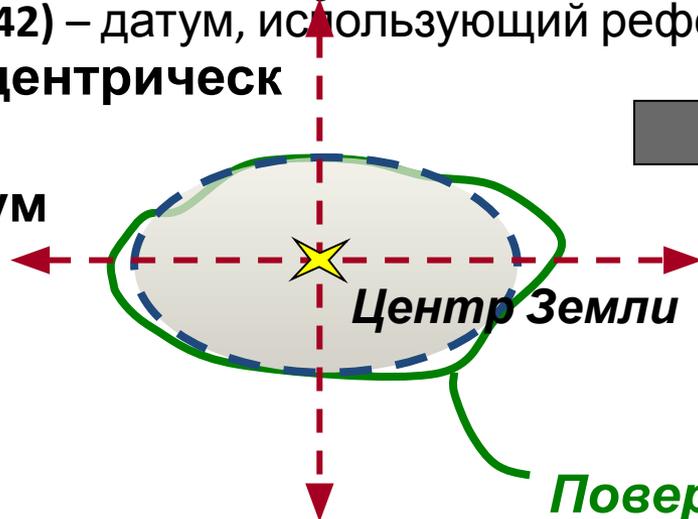
- **Геоцентрический датум:** центр референц-эллипсоида совпадает с центром масс Земли (геоцентрический).

Наиболее широко используется **Мировая геодезическая система 1984 года (WGS84)**. На этом датуме основана система GPS-навигации.

- **Локальный датум:** изменяет положение эллипсоида так, чтобы наиболее близко совместить его поверхность с нужной областью на поверхности Земли. Точка на поверхности эллипсоида, совпадающая с конкретным местоположением на поверхности Земли, известна как **исходная точка датума**. **Центр эллипсоида локального датума сдвинут относительно центра Земли.**

Наиболее известные локальные датумы: **Североамериканский датум 1927 года (NAD27)**, основанный на референц-эллипсоиде Кларка 1866 года, **Европейский датум 1950 года (ED50)**; **Система координат Пулково 1942 г. (СК-42)** – датум, использующий референц-эллипсоид Красовского.

Геоцентрический датум



Начальная

Локальный датум



Поверхность  
Земли

# Примеры референц-эллипсоидов

НАЗВАНИЕ	Год	Большая полуось, м	Малая Полуось, м	ПРИМЕНЕНИЕ
Айри (Airy)	1830	6377563.396	6356256.91	Великобритания
Бессель (Bessel)	1841	6377397.155	6356078.96284	Центральная Европа, Чили, Индонезия
Кларк (Clarke)	1866	6378206.4	6356583.8	Североамериканский континент, Филиппины
Хелмет (Helmet)	1907	6378200	6356818.17	Египет
Красовский	1940	6378245	6356863.0188	СНГ, Россия, некоторые страны Вост. Европы
WGS84 Датумы, используемые в России	1984	6378137	6356752.31	Весь Мир (GPS приемники)

- СК-42
  - Эллипсоид Красовского
  - Локальная система координат, Пулково 1942
  - Территория России

# Картографическая проекция

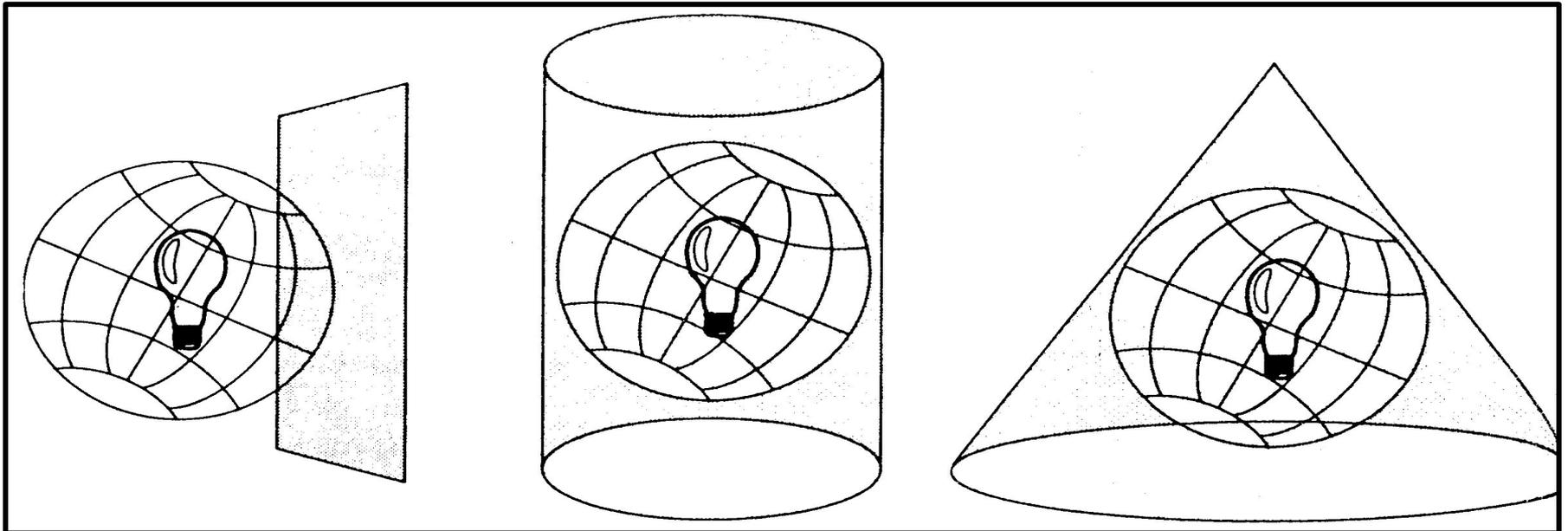
– математически определенный способ отображения поверхности земного эллипсоида на плоскости.

В зависимости от взаимного расположения источника проецирующих лучей, эллипсоида и плоскости, на которую он проецируется, все проекции подразделяются на три группы:

**азимутальные**

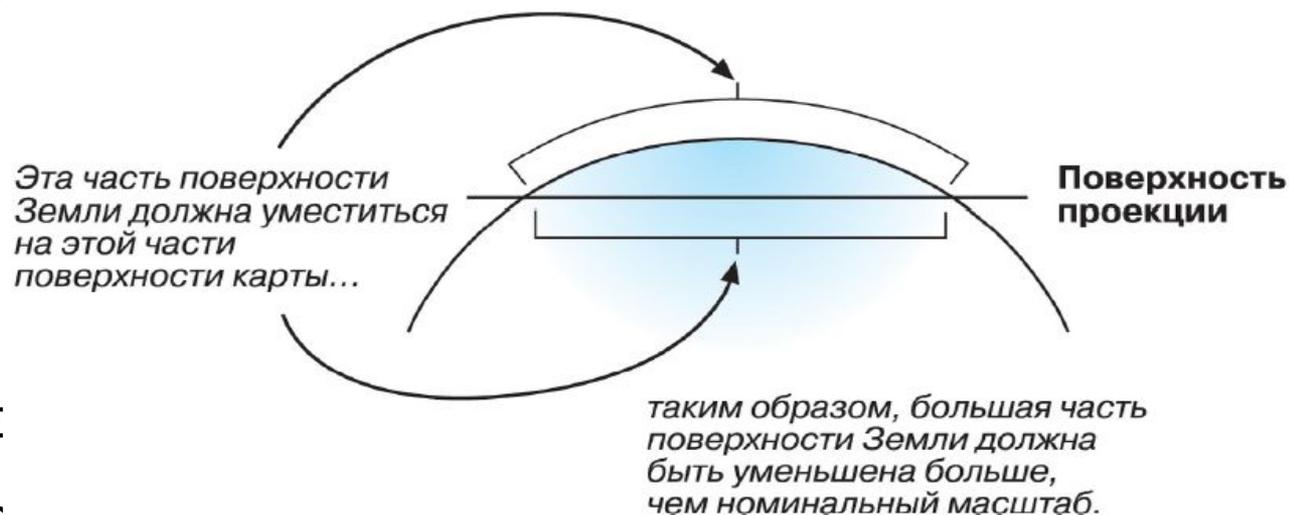
**цилиндрические**

**конические**



# Искажения в картографических проекциях

При перенесении изображения с эллипсоида на плоскость неизбежны искажения

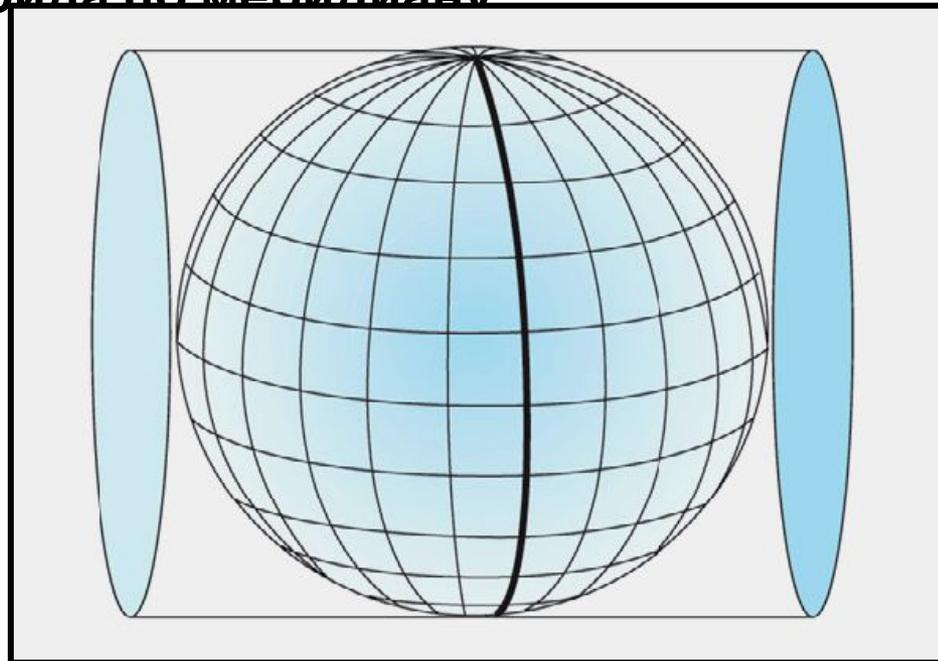


Искажения подраз

- **Конформные** (равноугонные)
  - сохраняют форму, но искажают площади, что делает измерения площадей на карте некорректными
- **Равноплощадные** (равновеликие)
  - сохраняют площадь, но искажают углы, формы объектов
- **Равнопромежуточные**
  - сохраняют расстояния по некоторым направлениям

# Проекция Гаусса-Крюгера

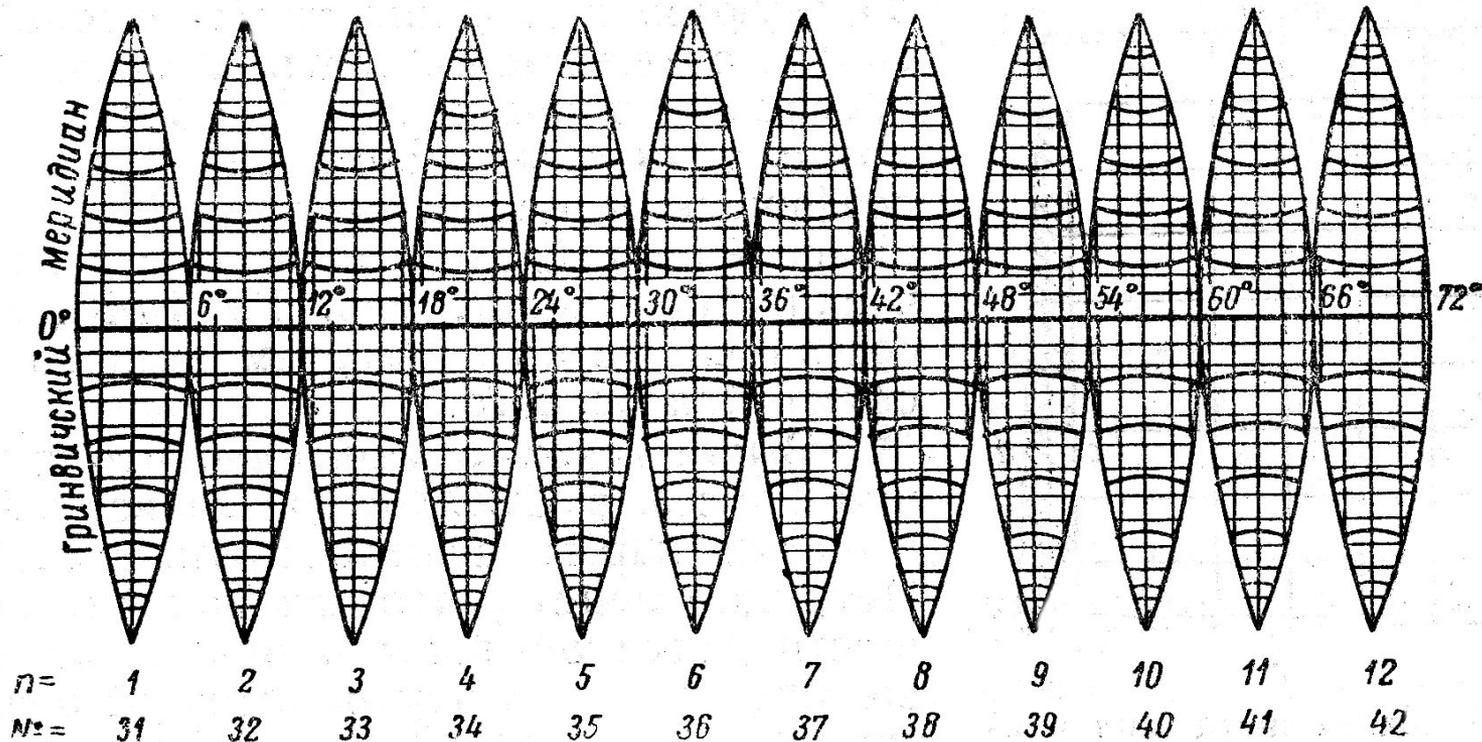
- В России в практической работе чаще всего приходится сталкиваться именно с картами в этой проекции. Это определяется тем, что топографические карты наиболее популярных масштабов - 1:200.000, 1:100.000, 1:50.000 выполнены в проекции Гаусса-Крюгера. Эти топографические карты являются, в свою очередь, основой для всех тематических работ, проводимых в данном масштабе.
- Проекция Гаусса-Крюгера представляет собой **равноугольную поперечно-цилиндрическую проекцию**. Это значит, что углы в ней не искажаются, проецирование осуществляется на цилиндр, причем этот **цилиндр касается эллипсоида по меридиану**.
- Отличие проекции Гаусса-Крюгера от проекции Меркатора, которая тоже является цилиндрической и равноугольной, в том, что в проекции Меркатора цилиндр касается эллипсоида по экватору, а в проекции Гаусса-Крюгера - по меридиану. Поэтому эту проекцию еще называют поперечной проекцией Меркатора (Transverse Mercator).



# Проекция Гаусса – Крюгера равноугольная поперечно-цилиндрическая

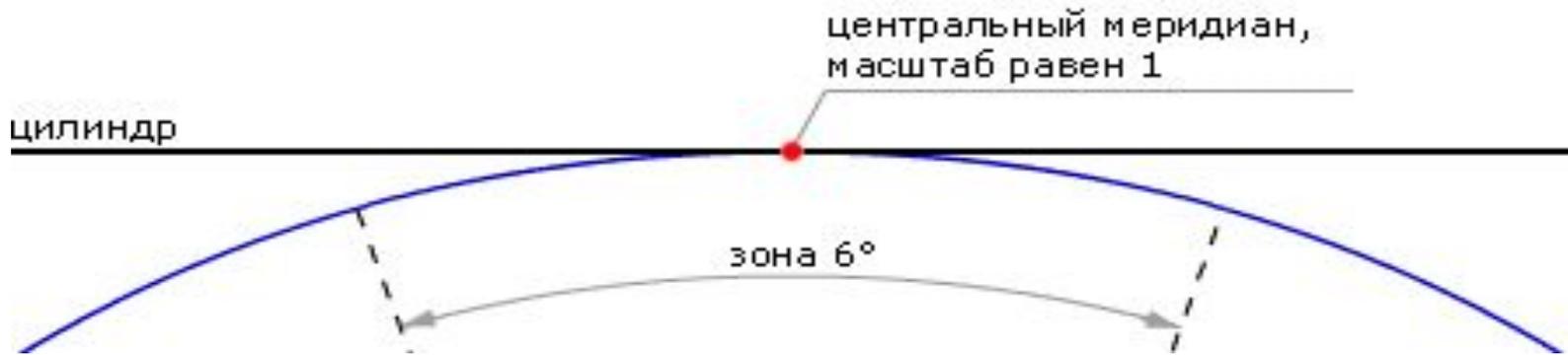
В этой проекции поверхность Земли изображается меридиональными зонами по шесть градусов каждая. Нумеруются зоны от нулевого меридиана.

Меридиан, по которому поперечная цилиндрическая проекция касается эллипсоида, для каждой зоны свой, называется он **осевым меридианом зоны** и его легко вычислить, зная номер зоны и то, что ширина каждой из них составляет шесть градусов. Например, осевым меридианом первой зоны является 3-й меридиан.



# Проекция Гаусса - Крюгера равноугольная поперечно- цилиндрическая

Проектирование на плоскость:

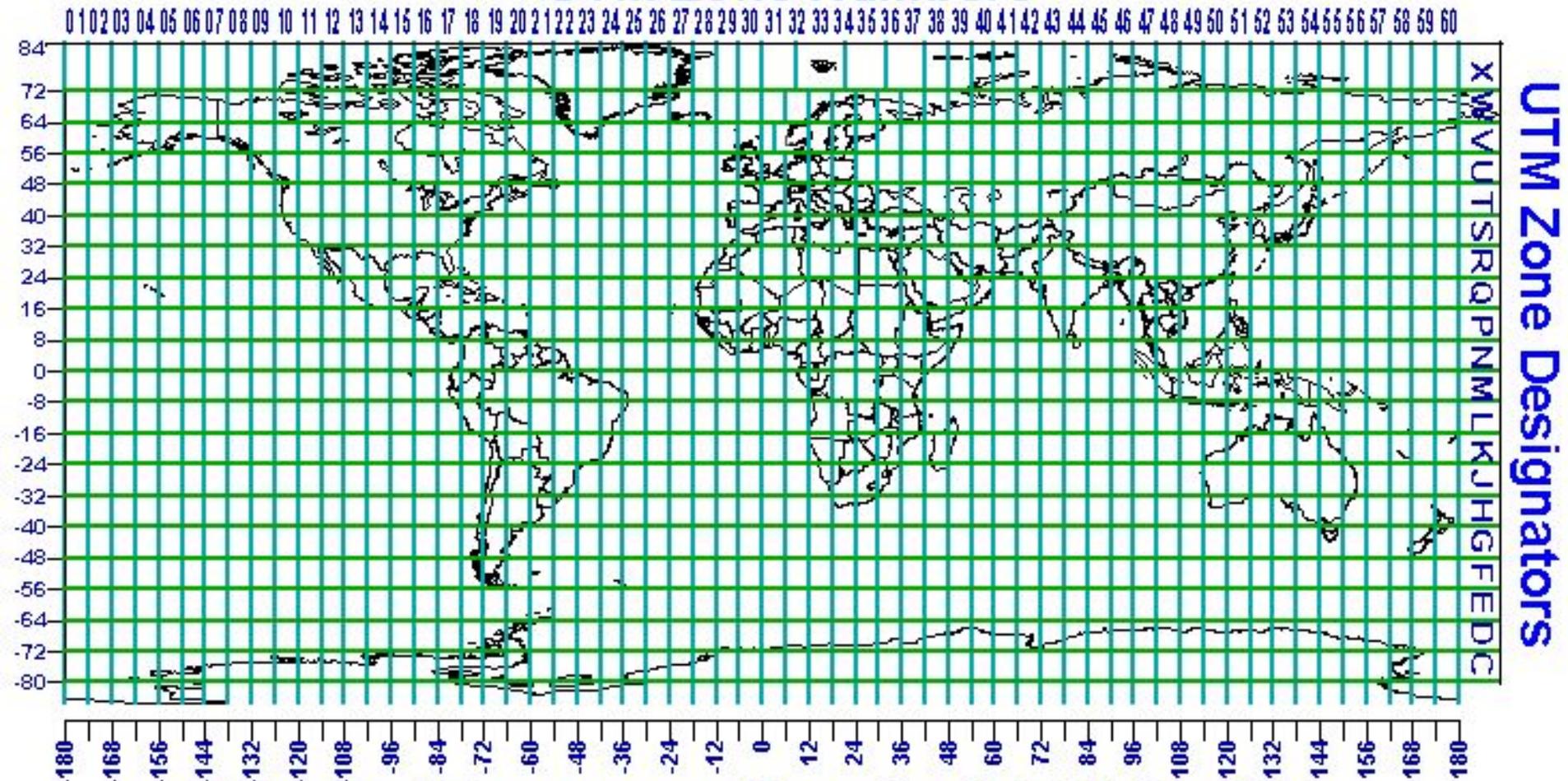


## Параметры проекции Гаусса – Крюгера (для первой зоны)

- долгота центрального меридиана зоны:  $3^\circ$  в.д.
- широта точки начала отсчета координат:  $0^\circ$
- масштабный коэффициент, т.е. степень уменьшения на центральном меридиане: 1,0
- восточное смещение начала отсчета координат: 500 000 м
- северное смещение начала отсчета координат: 0

# Равноугольная поперечно-цилиндрическая проекция Меркатора (UTM)

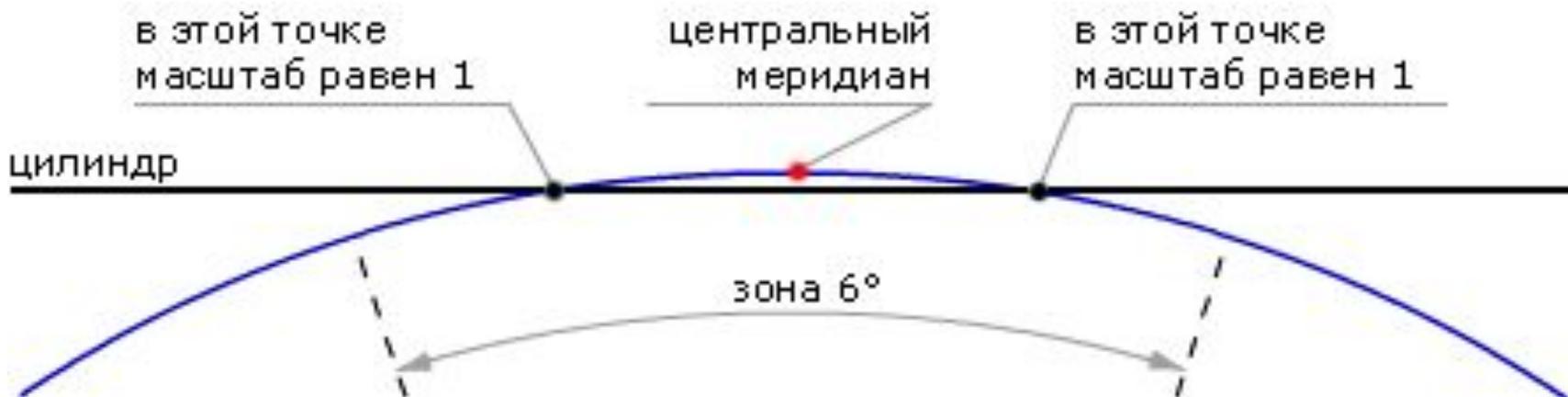
## UTM Zone Numbers



Universal Transverse Mercator (UTM) System

# Равноугольная поперечно-цилиндрическая проекция Меркатора (UTM)

Проецирование на плоскость:



## Параметры проекции UTM (для первой зоны)

- долгота центрального меридиана зоны:  $177^{\circ}$  з.д.
- широта точки начала отсчета координат:  $0^{\circ}$
- масштабный коэффициент, т.е. степень уменьшения на центральном меридиане: 0,9996
- восточное смещение начала отсчета координат : 500 000 м
- северное смещение начала отсчета координат: 0