



Тема лекции 2. ИСТОЧНИКИ ПОЛУЧЕНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Вопросы:

2.1. Способы получения и источники получения данных дистанционного зондирования

- 2.1.1. Технологии получения снимков.
- 2.1.2. Виды съемок.
- 2.1.3. Классы отражательных поверхностей.
- 2.1.4. Классификация данных ДЗЗ по спектральному разрешению.
- 2.1.5. Пространственное разрешение данных ДЗЗ

2.2. Проект по получению спутниковых фотоснимков планеты Земля Landsat.

2.3. Проект глобального мониторинга окружающей среды и безопасности Copernicus

- 2.3.1. Общие сведения о проекте Copernicus
- 2.3.2. Спутники серии Sentinel-1
- 2.3.2. Спутники серии Sentinel-2

2.4. Российская орбитальная группировка дистанционного зондирования Земли.

- 2.4.1. Общее состояние и перспективы
- 2.4.2. Спутники ДЗЗ Ресурс П
- 2.4.3. Спутники ДЗЗ серии Аист
- 2.4.4. Спутники серии Зоркий 2

2.5. Белорусско-российская космическая система дистанционного зондирования Земли

2.6. Источники получения данных дистанционного зондирования сверхвысокого разрешения.

- Вопрос 2.6.1. Спутник ДЗЗ QUICKBIRD 2
- Вопрос 2.6.2. Спутник ДЗЗ IKONOS
- Вопрос 2.6.3. Спутник OrbView-3
- Вопрос 2.6.4. Спутник ДЗЗ Formosat-2

Литература

1. Токарева О. С. Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования Земли: учебное пособие / О. С. Токарев. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 148 с.
2. Чандра А. М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы / А. М. Чандра, С. К. Гош. – Москва: Техносфера, 2008. – 312 с.
3. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / Р. А. Шовенгердт. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.
4. Жиленев М. Ю. Обзор применения мультиспектральных данных ДЗЗ и их комбинаций при цифровой обработке / М. Ю. Жиленев // Геоматика. – 2009. – № 3. – С. 56–64.

5. Кашкин В. Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений В. Б. Кашкин, А. И. Сухинин. – М.: Логос, 2001. – 264 с.
6. Сухих В. И. Аэрокосмические методы исследования в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве / В. И. Сухих. – Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2005. – 392 с.

Вопрос 2.1. Способы получения и источники получения данных дистанционного зондирования

При изучении земной поверхности дистанционными методами носителем информации об объектах служит их излучение, как собственное, так и отраженное. Регистрируется либо естественное излучение, определяемое естественным освещением земной поверхности Солнцем, либо тепловое - собственное излучение Земли, либо искусственное, которое создается при облучении местности источником, расположенным на носителе регистрирующего устройства. Фиксируемые характеристики излучения зависят от пространственного положения, свойств и состояния объекта, что и способствует его дистанционной идентификации. Излучение представляет собой электромагнитные волны разной длины, спектр которых изменяется в диапазоне от рентгеновского до радиоизлучения. В исследованиях окружающей среды используют более узкую часть спектра от оптических волн до радиоволн в диапазоне длин 0.3 мкм - 3 м. Для объектов суши наиболее информативно отраженное излучение, регистрируемое одновременно в разных длинах волн.

Важной особенностью ДЗ является наличие между объектами и регистрирующими приборами промежуточной среды, влияющей на излучение: это толща атмосферы и облачность. В атмосфере имеется несколько так называемых окон прозрачности, которые пропускают электромагнитные волны, поэтому волны этих длин и выбирают для регистрации.

Большую часть данных дистанционного зондирования составляют снимки, которые дают возможность получения информации об объекте в виде изображения в цифровой или фотографической форме.

Снимки содержат данные, получаемые от датчиков и съемочных систем, размещенных на платформах ДЗ (носителях аппаратуры) - спутниках, самолетах или вертолетах, и в соответствии с этим различают космические снимки и аэро-снимки. Среди различных доступных способов получения снимков спутниковые системы имеют ряд преимуществ:

на земной орбите находится одновременно много спутников, так что одна и та же территория может обозреваться регулярно с целью обнаружения изменений;

преобладающее большинство современных спутниковых систем поставляют данные в цифровой форме, которые можно передать по радио- или коротковолновым линиям связи, сохранить на магнитных носителях, легко выполнять их компьютерную обработку и анализ;

спутники имеют устойчивую геометрию полета, а это означает меньшую вероятность случайного искажения получаемого изображения;

спутник запускается на длительное время, поэтому стоимость получения данных ниже по сравнению с самолетными системами.

Ряд параметров спутниковых орбит влияет на свойства снимков и получаемой информации. Это, прежде всего, высота, наклонение, период обращения и положение относительно Солнца.

По высотам обычно выделяют три уровня:

200-400 км - околоземные орбиты пилотируемых кораблей и космических станций, дающие возможность выполнения детальной фотографической съемки;

600-1400 км - орбиты ресурсных и метеорологических спутников, используемые для оперативной менее детальной съемки;

36 000 км и выше - орбиты геостационарных спутников, используемые для постоянного наблюдения за заданным районом.

По наклонению, определяемому углом (ρ между плоскостью орбиты и плоскостью экватора, выделяют экваториальные ($\rho=0^\circ$), полярные и субполярные (ρ около 90°), и наклонные орбиты (например, пилотируемые корабли обычно работают на орбитах с наклонением 52°).

Период обращения особенно важен для решения задач мониторинга. Наиболее подходят так называемые квазипериодические орбиты с периодом в 14-16 витков в сутки, что позволяет несколько раз в год получать повторные снимки одного и того же участка местности, а определенное суточное смещение трасс полета обеспечивает широкое перекрытие снимков.

Среди различных положений относительно Солнца наиболее подходят для многократных съемок солнечно-синхронные орбиты, у которых угол между плоскостью орбиты и направлением на Солнце постоянный, что обеспечивает незначительность изменений освещенности земной поверхности вдоль трассы полета (местное солнечное время в момент прохождения спутника над заданной точкой Земли постоянно).

Вопрос 2.1.1. Технологии получения снимков.

Съемочные системы разделяют по технологии получения снимков на фотографические, телевизионные, сканерные и радиолокационные.

Фотографические системы - это фото или электронные камеры, обеспечивающие одномоментное получение всего кадра снимка в центральной проекции. Аэрофотоаппараты и их модификации - космические фотоаппараты - характеризуются наличием одного или нескольких объективов (со светофильтрами), фокусным расстоянием объектива и размером получаемого кадра. Формат кадра и фокусное расстояние определяют угол поля зрения камеры, с увеличением которого увеличивается территориальный охват съемки, но одновременно ухудшается качество изображения и равномерность освещенности по кадру [2]. На космических кораблях используют автоматические фотоаппараты, которые позволяют возвращать отснятую пленку на Землю, либо обеспечивают ее фотохимическую обработку, преобразование изображения в электрические сигналы и их передачу по радиоканалам.

Основная часть телевизионной камеры - передающая электронная трубка. Объектив камеры во время съемки фиксирует изображение на экране трубки, а ее электронный луч сканирует экран, формирует электрический сигнал и передает его по каналам космической связи, либо записывает на магнитное запоминающее устройство. По сравнению с фотографическими телевизионные изображения менее пригодны для измерений, но такие камеры позволяют оперативно передавать изображения по каналам связи.

Сканирующая система регистрации данных ДЗ состоит из сканера с датчиками, укомплектованными детекторами. Системы, расположенные на различных спутниковых платформах, имеют разные конструкции и принципы получения данных. Присваиваемые им уникальные названия и аббревиатуры, как правило, позволяют идентифицировать и носитель и съемочную систему, например, Landsat TM (Landsat Thematic Mapper) - это спутник "Ландсат" со съемочной системой TM (тематический картограф), а SPOT - спутниковая система Satellite Pour L'observation de la Terre.

Датчик - это устройство, собирающее отраженную от Земли солнечную энергию (электромагнитное излучение), преобразующее ее в электрический сигнал и представляющее сигнал в форме кода, удобного для передачи по каналам связи.

Детектор - это устройство в системе датчика, которое регистрирует электромагнитное излучение. Например, датчик сканера Landsat TM имеет 16 детекторов для каждого диапазона длин волн электромагнитного спектра (за исключением диапазона б, которому соответствуют 4 детектора).

Сканеры могут давать изображения в надире, т.е. фиксировать области на Земле, находящиеся непосредственно под детекторами сканера.

Существует четыре типа сканирующих систем. В первой из них - оптико-механической - датчик представляет собой качающееся перпендикулярно траектории зеркало, которое улавливает отраженную от Земли солнечную энергию. Записываемый сигнал характеризует интегральное излучение площадки на земной поверхности, соответствующей элементу изображения - пикселу (аббревиатура от "picture element"). Размер такой площадки определяет показатель пространственного разрешения снимка, о чем речь пойдет ниже. Колебание зеркала обеспечивает регистрацию строк пикселей снимка, а движение носителя - формирование всего изображения. При этом каждая строка регистрируется одним детектором.

Сканирующая система второго типа отличается тем, что в ней несколько детекторов объединены в линейные массивы, расположенные в направлении движения аппарата. Это обеспечивает параллельность сканируемых строк.

В сканирующей системе третьего типа нет подвижных частей. Отраженное излучение попадает на плоское зеркало и затем проектируется на объединенные в линейку светочувствительные детекторы (так называемые приборы с зарядовой связью - ПЗС). Линейка расположена поперек трассы полета, а количество детекторов может достигать нескольких тысяч. Такая линейка одновременно регистрирует всю строку снимка в каждой из зон спектра.

Сканирующие системы четвертого типа используют разные комбинации технологий сканирования, направленные на значительное увеличение числа спектральных диапазонов. В них излучение воспринимается спектрометрами и затем диспергируется на множество детекторов, организованных в линейные или матричные массивы (в матричном массиве столбец детекторов фиксирует излучение для каждого пиксела снимка). Такие системы, называемые также многоэлементными и используемые в современных съемочных системах, обеспечивают лучшие геометрические и спектральные свойства снимков.

Радиолокационные системы (радары) реализуют так называемый активный метод регистрации изображений. В них установленный на носителе передатчик с антенной испускает пучок микроволнового излучения, волны отражаются от поверхности, и приемник получает обратно рассеиваемое излучение в направлении, строго перпендикулярном прямолинейной траектории движения носителя. Поскольку объекты местности имеют разные наклонные дальности от носителя, то отраженные сигналы поступают в приемник в разное время. Изображения формируются по строке (полосе) снимка, а вдоль кадра строятся за счет поступательного перемещения носителя. Так как при этом регистрируются наклонные дальности до объектов, то съемку непосредственно под носителем не производят.

Радиолокационные системы имеют ряд преимуществ по сравнению с другими типами съемочных систем, поскольку микроволны радара могут проникать через атмосферу днем и ночью фактически при любых погодных условиях, обеспечивая получение данных даже в туман, морозящий дождь, снегопад, облачность и при задымлении территории. При некоторых условиях такие волны могут проникать через земную поверхность, способствуя обнаружению неоднородности грунтов.

Изображения можно получать также от сканеров или радарных датчиков, установленных на борту самолета. Эти данные используются при отсутствии возможности следующего пролета спутника над представляющей интерес областью или в случае необходимости в особом пространственном или спектральном разрешении, которое не может быть получено при использовании спутниковых датчиков. Аэросъемки удобны в случае природной или антропогенной катастрофы, так как они обеспечивают больший контроль над нужной областью и в нужное время.

Вопрос 2.1.2. Виды съемок.

Виды съемки зависят от используемой съемочной системы и соответственно технологии получения изображения. Основные виды съемки - аэросъемка, космическая съемка и наземная стереофотосъемка [2].

Существует несколько видов аэросъемки: аэрофотографическая, инфракрасная - тепловая, радиолокационная, а также геофизические аэросъемки (Прилож.1). Аэрофотосъемка представляет наибольший интерес для крупномасштабных географических исследований и топографического картографирования. Она

подразделяется на плановую и перспективную в зависимости от направления оптической оси аэрофотоаппарата.

При плановой аэрофотосъемке ось аэрофотоаппарата имеет отвесное положение, и снимок получается горизонтальным. Из-за колебаний самолета и соответственно фотоаппарата снимки могут иметь наклон, поэтому к плановым относят снимки, угол наклона которых не превышает 3° . При перспективной аэрофотосъемке оптическую ось устанавливают под заданным углом к вертикали. По сравнению с плановым, перспективный снимок фиксирует большую площадь, а изображение получается в более привычном ракурсе.

Наибольшее распространение имеет вид аэросъемки, который получил название многомаршрутной [2]. С ее помощью исследуемая территория сплошь покрывается серией снимков, имеющих продольное (в среднем 65%) и поперечное (35%) перекрытие.

Чтобы получить максимальное количество информации о территории, при аэрофотосъемке выбирают подходящие время суток и сезон.

Космические съемки подразделяются на одиночное фотографирование, маршрутные и глобальные. Одиночное (выборочное) фотографирование выполняется космонавтами ручными камерами. Снимки получаются перспективными со значительными углами наклона.

Маршрутная (одновитковая) съемка выполняется вдоль трассы, а ширина полосы съемки зависит от высоты полета и угла обзора съемочной системы.

Глобальные съемки выполняют так, чтобы снимки с соседних витков перекрывались или, по крайней мере, примыкали друг к другу. Снимки невысокого пространственного разрешения получают с геостационарных спутников. Для сплошной глобальной съемки высокого разрешения орбиты рассчитывают так, чтобы снимки имели минимальное поперечное перекрытие на экваторе. Для этого подходят круговые полярные (чтобы видеть всю Землю) и так называемые квази-периодические (со смещением на величину охвата съемкой) орбиты. Например, один из ресурсных спутников Лпндсат, при высоте орбиты 916 км, наклонении 99° , периоде обращения 103,3 мин, полосе обзора 185 км, может заснять всю Землю за 18 суток.

Наземная стереофотосъемка выполняется фототеодолитом и применяется для крупномасштабного картографирования и изучения динамики явлений и процессов рельефообразования, особенно в высокогорных районах.

Получаемые в процессе разных видов съемки снимки делятся:

по спектральному диапазону,

по масштабу,

обзорности,

пространственному разрешению.

Деление по спектральному диапазону является основой классификации аэрокосмических снимков, поскольку связано с физическими и природными основами их получения и отражает существо передаваемых снимками характеристик объектов.

Характеристики электромагнитного излучения и спектральных диапазонов. Электромагнитные волны излучений разных объектов занимают определенные участки (области) в спектре, за некоторыми из них закреплены однозначные названия, например ультрафиолетовая область спектра с длинами волн <0.4 мкм, видимая - $0.4-0.8$ мкм, инфракрасная - $0.8-1000$ мкм (для съемки обычно используются значения до 14 мкм) (рис. 2.1). В свою очередь эти области делятся на более узкие зоны, границы которых и названия уже не так однозначны.

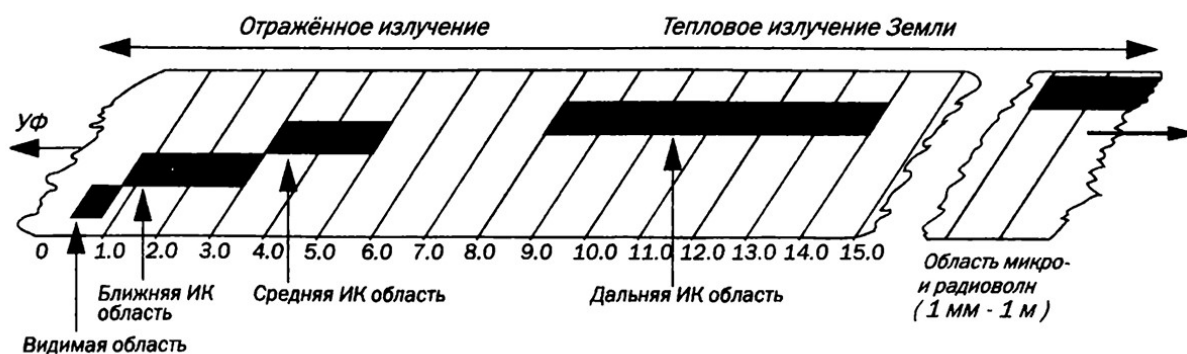


Рис. 2.1. Спектр электромагнитных волн

Видимая, ближняя и средняя ИК области соответствуют отраженному (солнечному) излучению, дальняя - эмиссионному излучению (собственному тепловому излучению Земли).

Применение методов обработки изображений в видимой и ИК областях спектра для идентификации объектов основано на спектрах их отражения, схематично представленных на рисунке 2.2 (схема предназначена лишь для сравнения и не отражает фактических зональных значений). Каждый объект имеет характерный спектр, соответствующий его химическому составу. При падении на объект солнечных лучей волны некоторой длины поглощаются химическими связями, а остальные отражаются обратно в направлении датчика, то есть фактически информацию относительно изображенной зоны или области обеспечивают те волны, которые не возвращаются к датчику.

Волны определенной длины поглощаются также газами, присутствующими в атмосфере (водяными парами H_2O , CO_2 , O_2 и др.). Когда атмосфера поглощает значительный процент излучения, это серьезно затрудняет или делает невозможным использование определенных длин волн для изучения земной поверхности. Считают, что это касается только водяных паров. На рисунке 1.2 показано размещение 5 и 7 зон системы Ландсат ТМ в средней ИК области, исключая эти длины волн. Поглощение другими атмосферными газами не настолько сильно, чтобы исключить использование соответствующей области спектра для существующих широкодиапазонных датчиков. Однако степень атмосферного поглощения изменяется в зависимости от влажности, высоты места, близости к городскому смогу (или, напротив, удаленности от него) и прочих факторов воздействия.

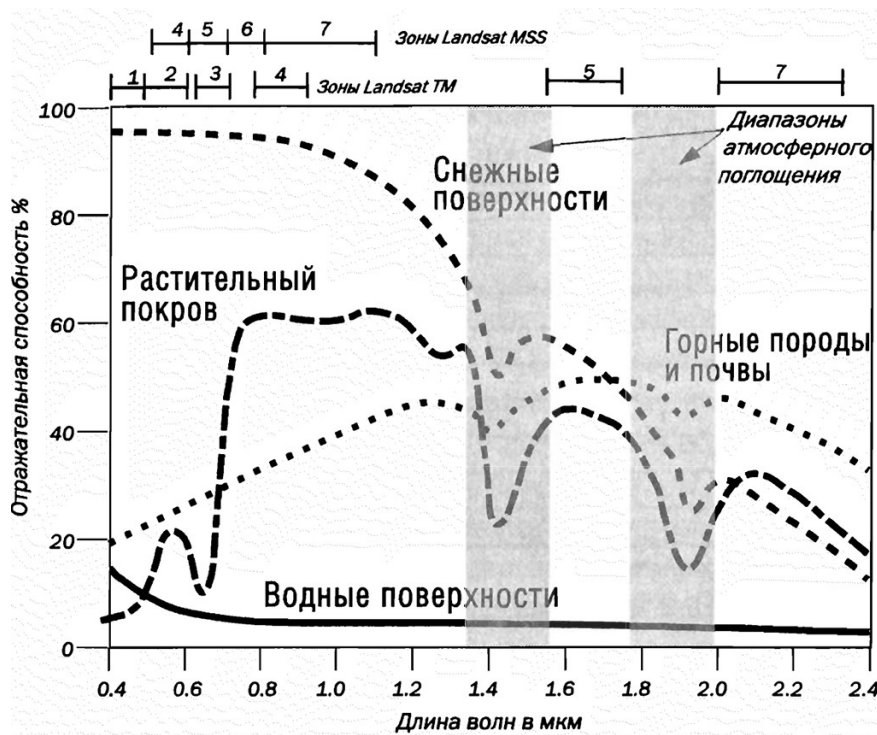


Рис 2.2 Отражательная способность разных поверхностей

После взаимодействия с объектом отраженное излучение должно проследовать обратно через атмосферу во второй раз, чтобы достигнуть спутника. Существуют разные математические модели, предназначенные для определения общего количественного эффекта воздействия атмосферы на солнечное освещение, они изучаются в курсе метеорологии.

Отраженное излучение характеризует отражательную способность объекта, представляемую значениями спектральной плотности энергетической яркости ($\text{мВт}/(\text{см}^2\text{ср мкм})$), которую измеряют посредством дистанционного датчика. Получаемые в результате величины переводятся в дискретные безразмерные цифровые значения, соответствующие характеристикам отражательной способности. В отечественной литературе они называются коэффициентами спектральной яркости или короче - спектральной яркостью. Записанные посредством регистрирующего устройства цифровые значения изменяются в пределах радиометрического битового диапазона, ширина которого зависит от характеристик датчика, обычно это интервал 0-255. На изображении эти значения соответствуют оттенкам серой шкалы: 0 представляет абсолютно черный объект, 255 - абсолютно белый, а промежуточные значения соответствуют различным оттенкам серого цвета.

Таким образом, детектор любого спутникового датчика регистрирует определенную часть электромагнитного спектра, а получаемые им спектральные яркости занимают часть битового диапазона.

Вопрос 2.1.3. Классы отражательных поверхностей.

Изучение характеристик отражательной способности дает теоретическую основу для интерпретации объектов по набору их спектральных яркостей или

их отношениям В этой области классическими являются исследования Е.Л. Кринова, разработавшего спектрметрическую классификацию природных образований в видимой области спектра, которые затем были продолжены и в ИК область. Все многообразие объектов в ландшафте он разделил на четыре класса, каждый из которых отличается своеобразной кривой спектральной яркости (рис. 1.2):

I класс - горные породы и почвы - характеризуется увеличением спектральных яркостей по мере приближения к красной зоне спектра.

II класс - растительный покров - отличается характерным максимумом отражательной способности в зеленой, минимумом - в красной и резким увеличением отражения в ближней инфракрасной зонах. В зеленой и красной зонах такое поведение связано соответственно с отражением и поглощением лучей хлорофиллом, а большие значения в ИК зоне объясняются пропусканием ИК лучей хлорофиллом и отражением их внутренними тканями листьев, т.е. влияет структура листового покрова.

III класс - водные поверхности - характеризуется монотонным уменьшением отражательной способности от сине-фиолетовой к красной зоне спектра, поскольку с увеличением длины волны они сильнее поглощаются водой.

IV класс - снежные поверхности и близкие к ним облака - обладает наиболее высокими значениями спектральной яркости с небольшим их понижением в ближней ИК зоне. Понижение резко увеличивается при насыщении снега водой.

Спектральная отражательная способность различается и у объектов одного класса, что связано с различными факторами: состоянием объекта, увлажненностью, гранулометрическим составом и т.п.

Вопрос 2.1.4. Классификация данных ДЗЗ по спектральному разрешению.

В зависимости от используемых частей электромагнитного спектра (спектральных зон) и их числа снимки подразделяются на панхроматические (однозональные или стереоскопические), мультиспектральные (мультиспектральные), гиперспектральные, радиолокационные.

Панхроматические снимки представляют собой одиночные снимки в одном - видимом диапазоне спектра. Их иногда называют интегральными, и по характеру передачи свойств объектов они схожи с фотографическими (Прилож. 2). Посредством панхроматического сканера можно получить стереоскопическое изображение. Для этого необходимо выполнить съемку с разницей в сутки и с отклонением по разные стороны от надира (вертикали). Возможен также вариант с использованием одного изображения вертикального, а другого - с отклонением от надира. Такой тип снимков используют для создания одиночного "объемного" изображения или топографических и планиметрических карт [13].

Многозональные (мультиспектральные в иностранной литературе) снимки - одновременные снимки в разных зонах спектра - отражают специфику

различных объектов, проявляющуюся в отражении в каждой из узких зон (Прилож.3).

Системы получения данных ДЗ проектируют так, чтобы фиксировать эту специфику, но в разных системах выбирают различные наборы зон и разные значения в их пределах с учетом назначения съемок.

Как уже отмечалось, в видимой области спектра специфика проявляется и в цветовых различиях.

Синяя зона находит применение при картографировании береговых линий водоемов, дифференциации почв и растительности, выделения антропогенных объектов.

Зеленая зона соответствует зеленому цвету здоровой растительности, но также используется для картографирования водоемов.

Красная зона является одной из наиболее важных для выделения растительности. Ее можно использовать также для определения границ почв, геологических границ и антропогенных объектов.

Часть ближней ИК области (обычно с перекрытием с красной зоной) - 0.7-0.8 мкм - характеризует объем растительной биомассы и используется для оценки урожая зерновых сельхозкультур, выделения границ почва/сельхозкультура или суша/вода. Другая часть области - 0.8-1.1 мкм - позволяет выполнять исследования растительного покрова при наличии тумана и дымки [13].

Участок средней ИК области со значениями длин волн 1.55-1.74 мкм восприимчив к количеству влаги в растениях, что важно при изучении засухи и при анализе жизнеспособности растений. Это одна из немногих зон, которую можно использовать для исследования характера облачности, снега и льда. Другая часть этой области со значениями 2.08-2.35 мкм применима для дифференциации типов геологических разломов, а также определения влагосодержания почв и растительности.

Область теплового ИК излучения в интервале 3.55-3.93 мкм может быть использована для выделения участков снежного и ледового покрова, а также для обнаружения пожаров (Прилож. 4). Интервал 10.40-12.50 мкм используется для регистрации температурных различий объектов съемки, растительности, пораженной болезнями, местоположения термальных загрязнений, исследования влажности почв.

Его можно использовать также для определения мест геотермальной активности.

Радиолокационные снимки. На цифровых радиолокационных снимках, получаемых в диапазоне 1 мм - 1 м, фиксируется структура ("шероховатость") поверхности, а цифровые значения соответствуют разности высот поверхности, включая рельеф и микрорельеф, или объектов (деревьев, травы и т.п.).

По таким снимкам изучают поверхностные загрязнения и поведение вод океанов, озер и других водных бассейнов, а также структуру их дна, поскольку поверхностные вихри, зыбь и волны во многом зависят от его рельефа.

Исследования показывают, что комбинирование характеристик радарных данных со снимками видимой и ИК областей спектра обеспечивает более полную картину земной поверхности, что существенно расширяет сферу применения таких данных.

Гиперспектральные снимки - это снимки, получаемые гиперспектральными датчиками, регистрирующими данные в большом числе узких зон спектра, измеряемых обычно в нанометрах (нм). При проектировании таких съемочных систем для исследования земной поверхности необходимо принимать в расчет все зоны поглощения излучения атмосферными газами. С другой стороны, зоны специфического поглощения можно использовать для измерения атмосферного содержания того или иного газа. Для обоснованного применения гиперспектральных данных необходимо четко представлять, о каком явлении и каких изучаемых объектах речь идет в конкретном исследовании. Так, например, гиперспектральный датчик AVIRIS, получающий данные в большом числе зон шириной примерно в 10 нм, позволяет при соответствующем выборе соотношений зон идентифицировать минералы. Подобные сканирующие датчики устанавливаются и на самолетах. Аэроспектрометр для получения изображений Американо-канской корпорации геофизических и экологических исследований имеет 79 диапазонов в ультрафиолетовой, видимой, коротковолновой и тепловой ИК областях электромагнитного спектра. Спектральный модуль микропроцессорной видеоспектрополяриметрической системы высокого разрешения, разработанной в Институте Географии РАН, обеспечивает получение значений спектральной плотности энергетической яркости в спектральном диапазоне 380-830 нм с разрешением 1 нм, т.е. 450 значений.

С более подробной классификацией снимков и направлений их использования в географических исследованиях и тематическом картографировании можно познакомиться в работе [6].

Следующий уровень подразделения данных ДЗ связан с характеристиками, зависящими от типа и орбиты носителя, съемочной аппаратуры и обуславливающими масштаб, охват территории и разрешение снимков. Они определяют дешифровочные возможности снимков [6].

Термин "разрешение" широко употребляется для характеристики числа пикселей, которые можно отобразить на экране дисплея. В дистанционном зондировании разрешение - это мера способности оптической системы различать сигналы, которые пространственно близки или спектрально подобны.

Для изображений, получаемых средствами ДЗ, должны быть рассмотрены четыре различных типа разрешения: - спектральное - определяемое характерными интервалами длин волн электромагнитного спектра, к которым чувствителен датчик; - пространственное - определяемое линейным размером области (площадки) на земной поверхности, представляемой каждым пикселем; - радиометрическое (яркостное) - число возможных кодированных значений (уровней квантования) спектральной яркости в файле данных для каждой зоны спектра, указываемое числом бит; - временное - определяемое частотой получения

снимков конкретной области. Системы получения и обработки данных. 23 Каждый из этих четырех типов содержит особую специфическую информацию, которую можно выделить из необработанных данных.

Спектральное разрешение соответствует числу и размеру зон съемки и зависит от параметров съемочной системы. Зона может быть широкой, как одна зона черно-белого панхроматического снимка (0.4-0.7 мкм), или достаточно узкой, как, например, красная зона снимка Ландсат ТМ (0,63-0,69 мкм).

Чем шире зона электромагнитного спектра, тем ниже спектральное разрешение. Четкое выделение спектральных зон повышает вероятность того, что интересующий объект будет идентифицирован.

Вопрос 2.1.5. Пространственное разрешение данных ДЗЗ

Пространственное разрешение - это минимальная угловая или линейная величина изобразившегося объекта местности, зафиксированная пикселом. Чем выше разрешение, тем меньше его числовое значение. Например, пространственное разрешение в 79 метров является более грубым, чем пространственное разрешение в 10 метров.

Пространственное разрешение аэроснимков определяют числом различающихся пар линий, отнесенным к 1 мм. Различают снимки низкого, среднего и высокого разрешения, измеряющегося соответственно километрами, сотнями или десятками метров.

Термины "крупномасштабные" и "мелкомасштабные" космические снимки часто соотносят с пространственным разрешением. Крупный масштаб соответствует снимкам, в которых каждый пиксел представляет маленькую область на земной поверхности, например, при пространственном разрешении в 10 или 20 метров. На снимках в мелком масштабе каждый пиксел соответствует большой области на земной поверхности, например с пространственным разрешением в 1 км.

Однако масштаб и пространственное разрешение не всегда связаны однозначно. Снимок всегда имеет фиксированное пространственное разрешение, но изображение может быть представлено в разных масштабах.

В качестве характеристики пространственного разрешения также используют мгновенное поле зрения детектора (Instantaneous Field Of View - IFOV), спроектированное на земную поверхность - разрешение на местности (Другими словами угловая величина IFOV является мерой области, обозреваемой единственным детектором в данный момент времени. Линейный размер площадки на местности,

Существует несколько способов получения данных дистанционного зондирования:

- Спутниковые снимки: Данные могут быть получены со спутников, находящихся на орбите Земли. Примерами спутниковых систем дистанционного зондирования являются Landsat, Sentinel-2 и SPOT.

– Аэрофотосъемка: Аэрофотоснимки могут быть сделаны с самолетов или других воздушных судов. Они могут быть использованы для получения детальных изображений поверхности Земли.

– Лидарное сканирование: Лидарное (лазерное) сканирование используется для создания трехмерных моделей поверхности Земли. Лидарные системы могут быть установлены на самолетах или беспилотных летательных аппаратах (БПЛА)

– Наземные датчики: Наземные датчики могут быть использованы для измерения различных параметров, таких как температура, влажность, концентрация газов и т.д

– Подводные датчики: Подводные датчики используются для изучения морских и океанских экосистем.

Источники данных дистанционного зондирования могут включать:

Спутниковые агентства: Такие агентства, как NASA и Европейское космическое агентство (ESA), предоставляют данные дистанционного зондирования в открытом доступе.

Компании, занимающиеся обработкой спутниковых данных: Компании, такие как Maxar Technologies и Planet, предоставляют услуги по обработке и анализу спутниковых данных.

В дальнейшем курсе дисциплины делается акцент только на спутниковые снимки дистанционного зондирования находящиеся в открытом доступе или отечественные. Среди находящихся в свободном доступе особое значение имеют данные дистанционного зондирования полученные со спутников Landsat и Sentinel-2.

Вопрос 2.2. Проект по получению спутниковых фотоснимков планеты Земля Landsat.

В настоящее время получение данных ДЗЗ из открытых источников. Одним из таких источников является сайт геологической службы США (USGS). На сайте представлены данные полученные с различных спутников дистанционного зондирования. Для скачивания доступны снимки с уровнем обработки L1 (L1TP, L1GT, L1GS) [2] с выполненным устранением искажений сенсора и геометрической коррекцией искажений перспективы и неровностей рельефа. По запросу можно получить снимки уровня L2 в виде альбедо земной поверхности с коррекцией на угол солнца и влияние атмосферы. Следует отметить что снимки уровня L2 могут быть самостоятельно рассчитаны по формулам на основе метаданных из снимков и с применением любого подходящего алгоритма атмосферной коррекции.

Спутники серии Landsat, обеспечивающие продолжительные наблюдения за поверхностью Земли, начали свою историю с запуска первого спутника в 1972 г. Запуск спутников традиционно осуществляется с авиабазы Ванденберг

(США). Спутниковая информация, полученная с данных аппаратов, нашла широкое применение в различных областях жизнедеятельности человека: сельское и лесное хозяйство, геология и картография, контроль над чрезвычайными ситуациями и природными бедствиями, оценка состояния окружающей среды, а также решение широкого спектра научно-исследовательских задач. В настоящее время функционирует три КА данной миссии: Landsat-7, Landsat-8 и Landsat-9. Аппарат Landsat-5 (запуск состоялся в марте 1984 г.) был выведен из эксплуатации в начале 2013 г. Всего с 1972 года было запущено 9 спутников. Сроки их эксплуатации отражены на рис. 2.3. Из рис 2.3 следует что за исключением периодов 1972-1975 года, 1983-1984, 1993-1999 постоянно эксплуатировалось по два спутника.

Спутникам данной серии, начиная с Landsat-4, присущи идентичные характеристики солнечно-синхронной околополярной орбиты с высотой 705 км. Период повторной съемки при ширине полосы обзора 185 км составляет 16 суток. Архивные и оперативные данные, полученные как с КА Landsat, так и с других зарубежных спутников, находятся в свободном доступе на сайте Геологической службы США (United States Geological Survey, USGS) EarthExplorer.

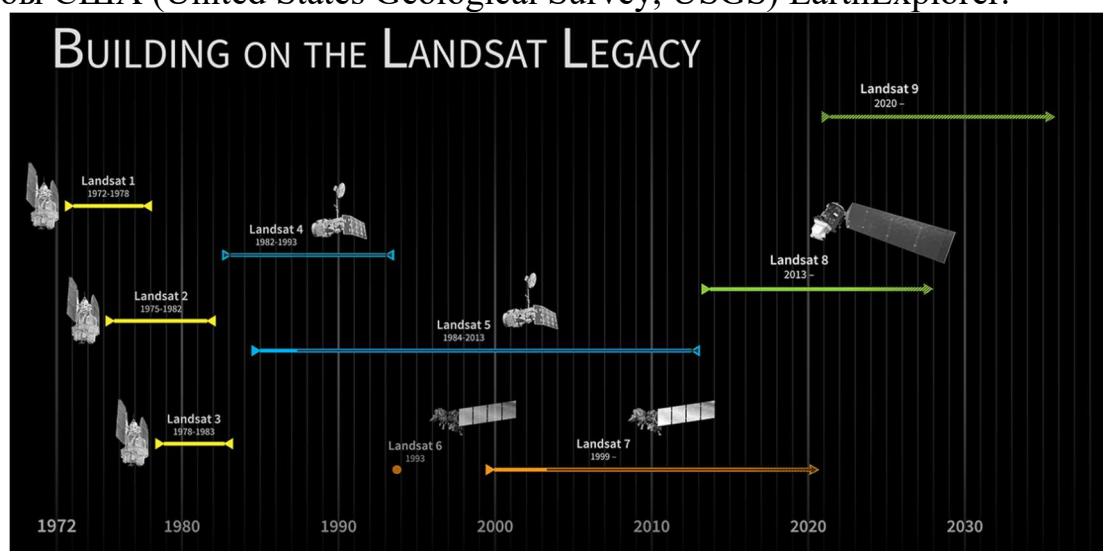


Рис. 2.3. Сроки функционирования спутников Landsat.

Landsat-7. Запуск спутника Landsat-7 состоялся 15 апреля 1999 г. (расчетный срок работы аппарата составлял 5 лет). Разработка данного аппарата была инициирована такими организациями, как NASA, NOAA и USGS. Съемка осуществлялась с помощью сенсора Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) в восьми спектральных каналах с пространственным разрешением 15, 30 и 60 м (таблица 3). Информация с данного КА поступает и сейчас, однако в мае 2003 г. возникли проблемы с получением полного объема информации. неполадки были вызваны потерей работоспособности прибора Scan Line Corrector (SLC), являющегося составной частью сенсора ETM+, который обеспечивал компенсацию продольного движения спутника.

Landsat-8-9. В разработке КА Landsat-8 по заказу NASA и USGS принимали участие такие компании, как Orbital Sciences Corporation (OSC) и Ball

Aerospace. Спутник был запущен 11 февраля 2013 г., расчетный срок активного функционирования, как и у предыдущего КА данной серии, составляет 5 лет, однако по техническим характеристикам он может проработать порядка 10 лет. На спутнике установлено два типа сенсоров: оптико-электронный Operational Land Imager (OLI) и тепловой Thermal Infrared Sensor (TIRS). Съемка осуществляется в 11 спектральных диапазонах с пространственным разрешением 15, 30 и 100 м. Спутник Landsat-8 продолжает наблюдения за земной поверхностью с характеристиками, близкими к параметрам предыдущих аппаратов данной миссии (спектральные диапазоны, пространственное разрешение, период повторной съемки и захват на местности, доступность данных и т. д.). В табл. 2.1. для сравнения представлены характеристики спектральных каналов аппаратов Landsat-1 – Landsat-9.

Таблица 2.1. Основные характеристики спутников Landsat

Название спектрального канала и длины волн ¹ , мкм	Спутник (используемый сенсор)							
	Landsat 8-9 (OLI, OLI2, TIRS, TIRS2)		Landsat 7 (ETM+)		Landsat 4-5 (TM)		Landsat 1-3 (MSS)	
	Номер канала	Разрешение, м	Номер канала	Разрешение, м	Номер канала	Разрешение, м	Номер канала	Разрешение, м
Побережья и аэрозоли (Coastal / Aerosol, New Deep Blue), 0,433—0,453	1	30						
Синий (Blue), 0,450—0,515	2	30	1	30	1	30		
Зелёный (Green), 0,525—0,600	3	30	2	30	2	30	4	60
Красный (Red), 0,630—0,680	4	30	3	30	3	30	5	60
Ближний ИК (Near Infrared, NIR) 0,845—0,885	5	30	4	30	4	30	6	60
Ближний ИК (Near Infrared, NIR2) ²							7	60
Ближний ИК (Short Wavelength Infrared, SWIR 2), 1,560—1,660	6	30	5	30	5	30		
Ближний ИК (Short Wavelength Infrared, SWIR 3), 2,100—2,300	7	30	7	30	7	30		
Панхроматический (Panchromatic, PAN), 0,500—0,680 ³	8	15	8	15				
Перистые облака (Cirrus, SWIR), 1,360—1,390	9	30						

Дальний ИК (Long Wave-length Infrared, TIR1), 10,30 — 11,30 ⁴	10	100	6	60	6	120		
Дальний ИК (Long Wave-length Infrared, TIR2), 11,50 — 12,50	11	100						

Примечания:

1. Длины волн спектральных каналов приведены для спутника Landsat 8, у остальных спутников они в большинстве случаев практически совпадают.

2. Второй канал ближнего ИК-диапазона был только у спутников Landsat 1-3 и имел длину волны 0,8-1,1 мкм.

3. Спутник Landsat 7 имеет панхроматический канал с расширенным диапазоном длин волн 0,52 – 0,90 мкм.

4. Спутники Landsat 5-7 имели только один тепловой канал (дальний канал ИК) с длиной волны 10,4-12,3 мкм.

Спутники Landsat 1-3 имели период между съемками 18 дней, а спутники Landsat 4-8 – 16 дней. Размер снимка соответствует участку на поверхности Земли около 185x185 км. На каждом снимке может быть отображено 10-15 административных районов. Практическое применение данных дистанционного зондирования связано с решением конкретной задачи в границах сельскохозяйственного предприятия, административного района или области. И чем крупнее объект исследования, тем труднее подобрать подходящие снимки. Это связано с тем что на значительной части снимков имеются облака. Информация об облачности может приводиться в описании снимков. Но при средней облачности по снимку 30%, одни районы могут быть чистыми от облаков, а другие полностью покрыты ими.

Вопрос 2.3. Проект глобального мониторинга окружающей среды и безопасности Copernicus

Вопрос 2.3.1. Общие сведения о проекте Copernicus

«Copernicus» - глобальная европейская система дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), которая будет базироваться на базе спутников “Sentinel”. В европейских СМИ сообщается, что на создание и эксплуатацию системы “Copernicus”, самого большого гражданского проекта по наблюдению за Землей, потребовалось не меньше 7,5 млрд. евро (10,2 млрд. долларов).

Обеспечение спутниковыми данными программы глобального мониторинга окружающей среды Copernicus возложено на спутники, участвующие в миссии содействия программы, а также группировку спутников Sentinel, которые изначально создаются для нужд данной программы. Программа Copernicus была создана в 1998 г. под руководством Еврокомиссии в содружестве с Европейским космическим агентством (European Space Agency, ESA) и Европейским агентством по окружающей среде (European Environment Agency, EEA). До декабря 2012 г. носила название Global Monitoring for Environment and Security (GMES). Данная программа решает широкий круг задач, которые направлены на

обеспечение безопасности и устранение последствий чрезвычайных ситуаций, мониторинг изменения климата и атмосферы, океанов и суши. Программа опирается на использование спутниковых данных, а также информации, полученной с наземных измерительных станций, атмосферных зондов и т. д. .

Группировка спутников Sentinel представляет собой как оптикоэлектронные, так и радарные данные. При этом каждая отдельная миссия направлена на решение определенной задачи и состоит из двух аппаратов, что обеспечивает лучшую периодичность и большее покрытие территории спутниковыми данными. Группировка радарных спутников Sentinel-1 отличается всепогодностью получения снимков и имеет широкий спектр применения (мониторинг льдов, нефтяных разливов, картографирование лесов и т. д.). Оптико-электронные спутники серии Sentinel-2 направлены на мониторинг растительности, поверхности суши и моря. Спутники Sentinel-3 предназначены для мониторинга морей и океанов и наблюдений за изменением климата. Планируется, что группировки спутников Sentinel-4 и Sentinel-5 будут решать вопросы мониторинга атмосферы. Спутники серии Sentinel-6 позволят выполнять картографирование рельефа поверхности мирового океана, производить наблюдение за океаническими течениями и аккумулярованием океаном тепла, что дает возможность прогнозировать повышение уровня моря. Для решения задач сельскохозяйственного производства наибольший интерес представляют спутники серии Sentinel-1 и Sentinel-2. Доступ к космическим снимкам серии Sentinel осуществляется посредством сайтов Sentinels Scientific Data Hub и USGS EarthExplorer, платформа приложений Sentinel Application Platform (SNAP) для обработки снимков также находится в свободном доступе [98, 100, 103].

Для целей мониторинга за использованием земельных ресурсов почвенным и растительным покровом наиболее подходят спутники серии Sentinel-1 и Sentinel-2.

Вопрос 2.3.2. Спутники серии Sentinel-1

Sentinel-1. Группировка Sentinel-1 состоит из двух радарных спутников с полярными солнечно-синхронными орбитами высотой 693 км и запланированным сроком эксплуатации 7 лет. Разработкой спутников серии Sentinel-1 занимались компании Thales Alenia Space Italy, Astrium Germany и Astrium UK. Первый спутник Sentinel-1A вывели на орбиту 3 апреля 2014 г., второй спутник Sentinel-1B был запущен 25 апреля 2016 г. Периодичность повторной съемки составляет от одного до трех дней. Съемка производится в С-диапазоне с помощью радара с синтезированной апертурой Synthetic Aperture Radar (SAR) и не зависит от времени суток и облачности. Съёмочная аппаратура поддерживает четыре режима работы: два основных – Interferometric Wide Swath (IW) и Wave (WV), два дополнительных – Stripmap (SM) и Extra Wide Swath (EW) (табл. 2.2). В область применения радарных данных входит мониторинг арктических морей и разливов нефти, картографирование льдов, внутренних водных объектов и лесов, изучение подвижек земной поверхности, обеспечение безопасности и т. д.

Таблица 2.2 – Технические характеристики съемочной аппаратуры КА Sentinel-1

Режим работы	Пространственное разрешение, м	Ширина полосы съемки, км	Направление поляризации
Wave (WV)	5 × 5	20 × 20	VV, HH
Interferometric Wide Swath (IW)	5 × 20	250	HH+HV, VH+VV, HH, VV
Extra Wide Swath (EW)	20 × 40	400	
Stripmap (SM)	5 × 5	80	

Вопрос 2.3.2. Спутники серии Sentinel-2.

Sentinel-2. Группировка из двух оптических спутников Sentinel-2 должна обеспечивать мониторинг земной поверхности с характеристиками, близкими к параметрам КА SPOT и Landsat с заложенным сроком функционирования 7 лет. Разработчиком данных спутников является компания EADS Astrium Satellites. Первый спутник этой серии Sentinel-2A был выведен на орбиту 23 июня 2015 г. При высоте орбиты порядка 786 км охват на местности составляет 290 км, а при запуске обоих спутников период повторной съемки в зависимости от широты будет варьироваться от пяти до двух-трех дней. Солнечно-синхронная орбита спутника обеспечивает равномерное освещение поверхности по всей трассе съемки. На спутнике установлен оптико-электронный мультиспектральный сенсор Multi Spectral Instrument (MSI), спектральные характеристики которого представлены в табл. 2.3. Съемка выполняется с пространственным разрешением 10, 20 и 60 м, в 13 спектральных каналах, в видимой и ближней инфракрасной областях спектра (VNIR), а также в коротковолновой инфракрасной области (SWIR). Получаемая с данного спутника информация может использоваться при мониторинге растительности и водных объектов, стихийных бедствий и наводнений, изучении активности вулканов.

Таблица 2.3 Спектральные каналы съемочной аппаратуры Sentinel-2

Спектральный канал	Спектральный диапазон длин волн, мкм	Пространственное разрешение, м
B1	0,433–0,453	60
B2	0,458–0,522	10
B3	0,543–0,577	10
B4	0,650–0,680	10
B5	0,698–0,712	20
B6	0,733–0,747	20
B7	0,773–0,793	20
B8	0,784–0,899	10

B8a	0,855–0,875	20
B9	0,935–0,955	60
B10	1,360–1,390	60
B11	1,565–1,655	20
B12	2,100–2,280	20

На рис. 2.4. для сравнения представлены спектральные диапазоны длин волн съемочной аппаратуры спутников Sentinel-2, Landsat-7 и Landsat-8.

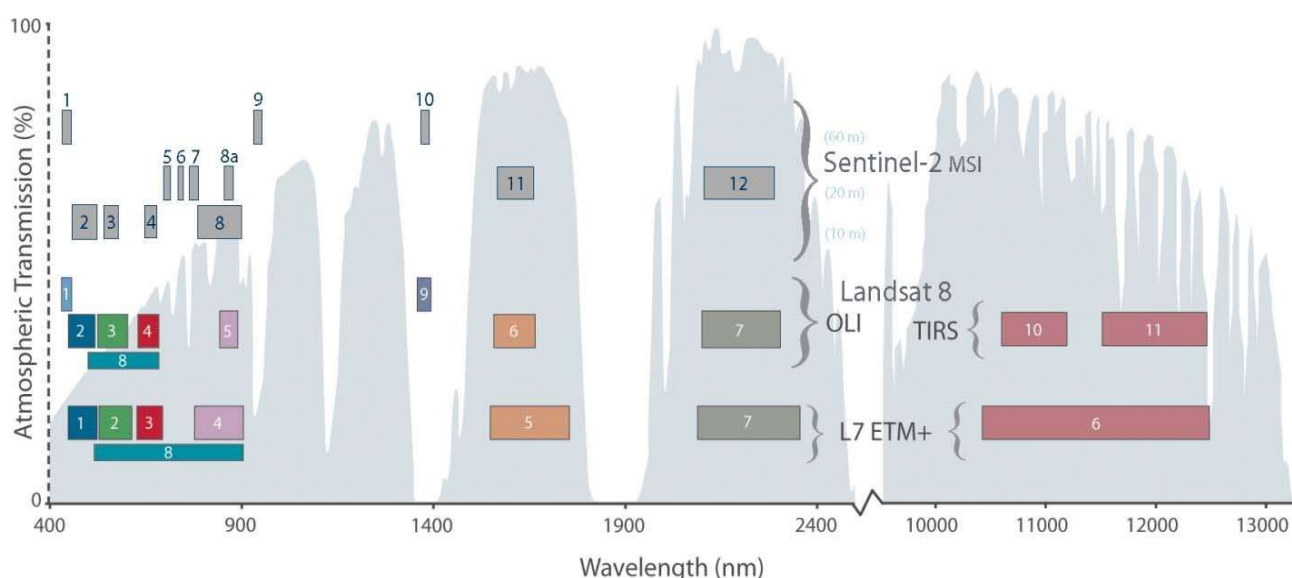


Рис. 2.4. Сравнение спектральных характеристик КА Landsat-7 и Landsat-8 с КА Sentinel-2

Вопрос 2.4. Российская орбитальная группировка дистанционного зондирования Земли.

Вопрос 2.4.1. Общее состояние и перспективы

На начало 2023 г в состав Российской Федерации орбитальной группировки космических аппаратов ДЗЗ входят 10 спутников: «Арктика-М», «Метеор-М» (2 спутника), «Электро-Л» (2 спутника), «Канопус-В» (5 спутников). В орбитальной группировке не было аппаратов двух типов: высокодетальной съемки с разрешением не более 0,5 метров и радиолокационной съемки.

В 2025 году в российскую орбитальную группировку дистанционного зондирования Земли будут входить 26 космических аппаратов. При этом группировка будет включать спутники, работающие во всех режимах спектра и параметрах разрешающей способности.

С 2023 по 2025 год будут запущены еще 16 спутников. Перспективный состав орбитальной группировки ДЗЗ в 2025 году будет включать 26 космических аппаратов (КА): 2 КА «Ресурс-П», 2 КА «Ресурс-ПМ», 5 КА «Канопус-В», 4 КА «Метеор-М», 4 КА «Ионосфера», 4 КА «Электро-Л», 2 КА «Арктика-М», 2 КА «Кондор-ФКА», КА «Обзор-Р».

Проектный состав группировки представлен на рис.2.5.

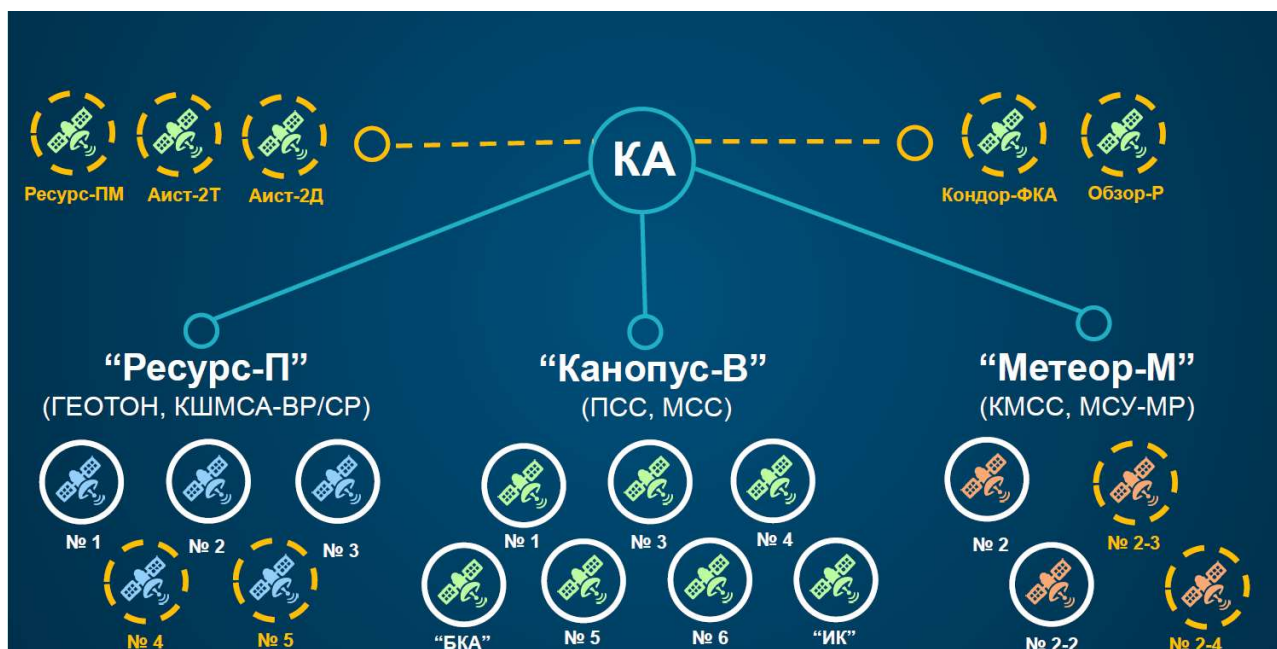


Рис 2.5. Перспективное состояние группировки спутников ДЗЗ на 2025 год.

Вопрос 2.4.2. Спутники ДЗЗ Ресурс П

«Ресурс-П» (от «перспективный») — российский космический аппарат дистанционного зондирования Земли, созданный ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» для замены КА «Ресурс-ДК1». «Ресурс-П» №1 выведен на орбиту 25 июня 2013 года в 21:28:48, «Ресурс-П» №2 выведен на орбиту 26 декабря 2014 г. «Ресурс-П» №3 выведен на орбиту 13 марта 2016 г. В ближайшее время планируется запуск спутников ресурс № 4 и №5.

КА предназначен для получения высокодетальных данных ДЗЗ в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне спектра в режиме почти реального времени для обеспечения хозяйственной деятельности МПР России, МЧС России, Россельхоза, Росрыболовства, Росгидромета и других потребителей, а также получения информации для контроля окружающей среды, поиска полезных ископаемых, крупномасштабного картографирования. Имеет возможности объектовой и маршрутной съемок. Возможна стереосъемка маршрутов шириной 115 км; съемка площадок до 100x300 км. КА «Ресурс-П» №2 выведен из эксплуатации 26 ноября 2018 г.

Таблица 2.4. Характеристики космического аппарата Ресурс-П

Наименование КА	Ресурс-П
Страна	Россия
Разработчики	ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»
Оператор	НЦОМЗ
Дата запуска	25.06.2013
Ракета-носитель (РН)	«Союз-2»
Орбита: высота, км наклонение, град	Круговая солнечно-синхронная 475 97,3
Срок активного существования, лет	5
Период повторного наблюдения, сутки	3
Возможность получения стереопары	Да, с соседних витков

Целевая аппаратура на борту спутника Ресурс-П:

- Оптико-электронный комплекс «ГЕОТОН-Л1» с СППИ «САНГУР-1У»
- Гиперспектральная аппаратура (ГСА)
- Комплекс широкозахватной мультиспектральной съёмочной аппаратуры:

ШМСА-ВР, ШМСА-СР

Спутник обеспечивает с помощью прибора «ГЕОТОН-Л1» высокодетальную съёмку земной поверхности с разрешением 70 сантиметров в монохроматическом режиме и не хуже 3—4 метров в 5-х спектральных полосах. Ширина полосы земной поверхности, снимаемой за один пролёт — 38 км.

Также имеется комплекс гиперспектральных наблюдений (ГСА) в 96—255 интервалах (длина волны 0,4—1,1 мкм) с разрешением 25—30 м в полосе 25 км.

На аппарате установлено два комплекса широкозахватной мультиспектральной съёмочной аппаратуры: высокого разрешения (ШМСА-ВР) и среднего разрешения (ШМСА-СР). При их использовании обеспечиваются характеристики (ШМСА-ВР и ШМСА-СР соответственно): разрешение в монохроматическом режиме: 12 м, 60 м; разрешение в 5 спектральных диапазонах: 23,8 м, 120 м; ширина полосы захвата 97 км, 441 км. Производительность оценивается в 1 млн км² в сутки.

Таблица 2.5. Технические характеристики бортовой аппаратуры Ресурс-П

Аппаратура	ГЕОТОН-Л1 PAN	ГЕОТОН-Л1 MS	ШМСА-ВР	ШМСА-СР	ГСА
Спектральные диапазоны, мкм	0,58–0,80	Синий: 0,45 - 0,52 Зеленый: 0,52 - 0,60 Красный: 0,61 - 0,68 Красный 1: 0,67 - 0,70 Красный 2: 0,70 - 0,73	Панхром.: 0,43 - 0,70 Синий: 0,43 - 0,51 Зеленый: 0,52 - 0,60 Красный: 0,61 - 0,68 Ближний ИК 1: 0,70 - 0,90		Не менее 96 спектральных каналов в диапазоне 0,4 - 1,1 мкм

		Красный+Ближ- ний ИК: 0,70 - 0,80	Ближний ИК 2: 0,80 - 0,90		
Разрешение на местности, м	1	3-4	PAN: 12 MS: 24	PAN: 60 MS: 120	25-30
Ширина полосы съемки, км	38		96	480	25
Ширина полосы за- хвата, км	950		1300		950

Вопрос 2.4.3. Спутники ДЗЗ серии Аист

Спутники данной серии являются совместными разработками университетов и Роскосмоса. Полезная нагрузка спутника включает оптико-электронную аппаратуру «Аврора», оптико-электронный комплекс ИК-диапазона и экспериментальный радар (SAR) БиРЛК Р-диапазона (совместная разработка РКЦ «Прогресс» и Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики) и научное оборудование, разработанное специалистами СГАУ. Технические характеристики спутника приведены в табл. 2.6. а съемочной аппаратуры в табл 2.7.

Таблица 2.6. Технические характеристики ОТ МКА Аист-2Д

Наименование КА	Аист-2Д
Страна	Россия
Разработчики	АО «РКЦ «Прогресс» и Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (СГАУ) (Россия)
Оператор	АО «РКЦ «Прогресс»
Дата запуска	28 апреля 2016
Ракета-носитель (РН)	РН «Союз-2.1а/Волга» (Россия)
Стартовая площадка	космодром Восточный (Россия)
Орбита: высота, км наклонение, град	Околокруговая (солнечно-синхронная) 490 97,3
Срок активного существования, лет	не менее 3 лет
Масса КА, кг	531
Масса целевой и научной аппаратуры, кг	145
Скорость передачи целевой информации на наземный пункт приёма, Мбит/с	150

Таблица 2.7 Технические характеристики съемочной аппаратуры «Аврора»

Режим съемки	Панхроматический	Мультиспектральный	Инфракрасный
Пространственное разрешение (в надире), м	1,48	4,4	122,5
Ширина полосы съемки, км	39,7	39,7	47

В настоящее время готовится к запуску спутник данной серии – Аист 2Т.

Вопрос 2.4.4. Спутники серии Зоркий 2

Спутники Зоркий 2 являются негосударственной разработкой. Они разработаны компанией Sitronics Group. Sitronics Group вместе со Sputnik планируют запустить более 100 спутников различного назначения и создать единый «магазин» для продажи космических сервисов и данных. Спутник CubeSat 12U для ДЗЗ с 2,8 метровым разрешением (мультиспектр) с НОО Платформа 12U содержит: • резервированные базовые подсистемы; • разворачиваемые солнечные панели из GaAs; • высокоскоростная система связи Xдиапазона; • высокоточная СОС со звездным датчиком.

За время своего существования компанией Sitronics Group запущено 40 спутников. Сейчас функционирует 35 КА различного назначения (IoT, ДЗЗ, АИС, АЗНВ, научные, учебные и др.)

В июне 2023 года компанией был запущен на орбиту и успешно функционирует экспериментальный наноспутник «Зоркий-2М» с мультиспектральной камерой ДЗЗ разрешением 2,8 метров. На начало 2024 года запланировано начало развертывания российской многоспутниковой группировки КА высокого разрешения на базе «Зоркий-2М», состоящей из 32 КА.

Кроме того, на основе разрабатываемой в «СПУТНИКС» универсальной спутниковой платформы «Паллада» планируется развернуть спутниковую группировку из 6-и КА оптического ДЗЗ субметрового разрешения и группировку 6-и радарных аппаратов. Первый спутник на базе платформы уже разработан, идет изготовление летного образца, запуск – конец 2024 г. Все сервисы на основе получаемых спутниковых данных будут предоставляться пользователям через разрабатываемый Sitronics Group специальный маркетплейс.

Технические характеристики спутника представлены в табл. 2.8, а пример результатов съемки на рис. 2.6.

Таблица 2.8. Основные характеристики спутника Зоркий 2

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЯ
Тип спутника	CubeSat– 12U
Масса КА, кг	20
Высота орбиты, км	500-600
Масса камеры, кг	12
Количество спектральных диапазонов	4
Спектральные диапазоны, нм	450-520 530-590 630-690 760-900
Разрешение в надир, м	2,8
Линейное разрешение в надир, м	4
Полоса захвата, км	9.3 (с учетом перенацеливания 250)



Рис. 2.6. Результат съемки спутником Зоркий-2

Вопрос 2.5. Белорусско-российская космическая система дистанционного зондирования Земли.

С 2012 года функционирует Российско-Белорусская группировка спутников ДЗЗ. Спутники БКА (Республика Беларусь) и Канопус-В (Российская Федерация) были выведены на орбиту 22 июля, а 30 октября введены в эксплуатацию. Спутники находятся на одинаковой орбите со сдвигом на 180°. Интервал между съемками составляет от 4 до 16 дней. Каждый из спутников имеет производительность съемки 0,5-2,0 млн км² в сутки. В 2017 году Российская федерация ввела в эксплуатацию спутник Канопус-В-ИК а в течении 2018 г. еще 4 спутника Канопус-В.

Информация об архивных снимках представлена на сайтах: Роскосмоса, ГНИЦ Природа (Российская Федерация), НИРУП «Геоинформационные системы» и ГП «БелПСХАГИ» (Республика Беларусь).

Совместная орбитальная группировка БКА-Канопус предназначена для получения панхроматических и многозональных изображений поверхности Земли в интересах обеспечения подразделений Госкорпорации «Роскосмос»,

МЧС России, Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды России, Российской академии наук, а также других ведомств и коммерческих потребителей оперативной информацией.

Головной организацией-разработчиком космических аппаратов «Канопус-В» является Корпорация ВНИИЭМ. Оператор космической системы — Научный центр оперативного мониторинга Земли АО «Российские космические системы». Управление полетом космических аппаратов осуществляет Центр управления полётами (ЦУП).

Целевое использование космического комплекса «Канопус-В» осуществляется в соответствии с заявками потребителей на получение информации дистанционного зондирования Земли. Прием, обработка и распространение спутниковой информации выполняется центрами Роскосмоса (Научный центр оперативного мониторинга Земли) и Росгидромета (ФГБУ «НИЦ «Планета»). Информация, получаемая со спутника, востребована российскими и зарубежными потребителями и используется для решения практических задач.

В настоящий момент на орбите в составе российской части комплекса работают шесть космических аппарата:

«Канопус-В» № 1 — запущен 22 июля 2012 года (выведен из эксплуатации в 2023 г)

«Канопус-В-ИК» — запущен 14 июля 2017 года

«Канопус-В» № 3 — запущен 1 февраля 2018 года

«Канопус-В» № 4 — запущен 1 февраля 2018 года

«Канопус-В» № 5 — запущен 27 декабря 2018 года

«Канопус-В» № 6 — запущен 27 декабря 2018 года

Космический аппарат «Канопус-В» обеспечивает съемку поверхности Земли в видимом диапазоне спектра электромагнитного излучения, формирование полученной видеоинформации в кадры, хранение и передачу полученных данных по радиоканалам на наземный комплекс планирования приема, регистрации, обработки и распространения информации.

В состав целевой аппаратуры космического аппарата входят панхроматическая съемочная система и многозональная съемочная система. С их помощью осуществляется съемка участков поверхности Земли в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне спектра. При этом возможно проведение одновременной съемки в панхроматическом и многозональных режимах или съемки только в многозональном режиме при различных комбинациях спектральных зон.

Впервые в мировой практике на космическом аппарате «Канопус-В» применен кадрово-сканирующий принцип съемки, позволяющий получить данные высокого геометрического качества и обладающие высокими изобразительными свойствами. На космическом аппарате «Канопус-В» установлена телекомандная система международного диапазона (S-диапазона), что повышает эффективность работы космического комплекса при реализации международных проектов.

Технические решения, реализованные в «Канопус-В» обеспечивают международный уровень качества получаемой информации высокого разрешения, надежность и эффективность функционирования космического комплекса.

«Канопус-В-ИК» является вторым аппаратом в космическом комплексе «Канопус-В». Космический аппарат оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций «Канопус-В-ИК» предназначен для решения оперативных задач:

мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций, в том числе стихийных гидрометеорологических явлений;

обнаружения очагов лесных пожаров площадью 25 м², крупных выбросов загрязняющих веществ в природную среду;

мониторинга сельскохозяйственной деятельности, природных (в том числе водных и прибрежных) ресурсов;

землепользования;

наблюдения заданных районов земной поверхности;

картографирования;

обновления топографических карт.

Помимо традиционного для аппаратов серии «Канопус-В» моноблок целевой аппаратуры, включающего в себя панхроматическую и многозональную съемочные системы, космический аппарат «Канопус-В-ИК» оснащен многоканальным радиометром среднего и дальнего инфракрасных диапазонов. Аппаратура «Канопус-В-ИК» позволяет получать качественно новую информацию за счет более высокого пространственного разрешения и широкой полосы захвата — 2000 км. Но главным достоинством прибора является способность обнаруживать малоразмерные очаги пожара площадью всего 25 м², что значительно упрощает борьбу с ними.

Структурно космические аппараты «Канопус-В» и [БКА](#) включают служебную платформу (СП) и комплекс целевой аппаратуры (КЦА). Структурная схема этих космических аппаратов на примере КА «Канопус-В» представлена на рис. 2.7.

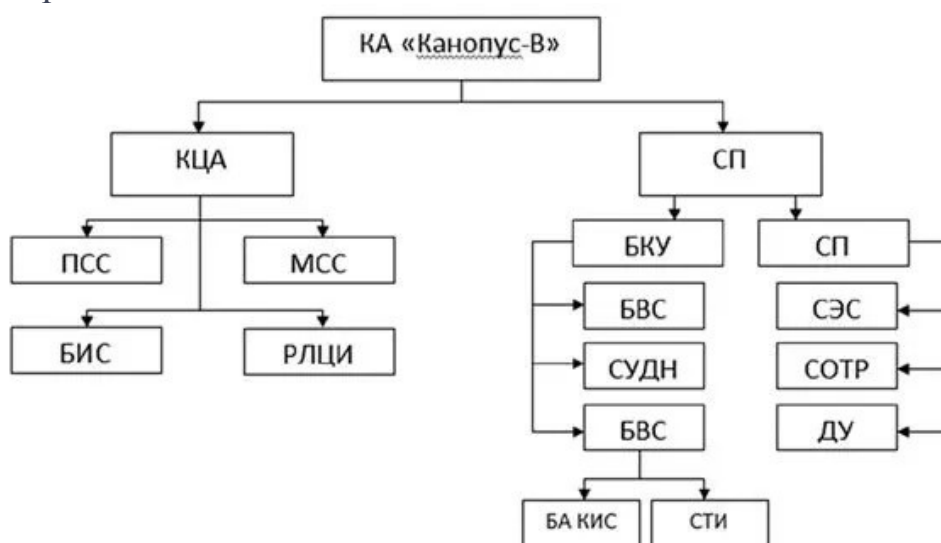


Рис. 2.7. — Структурная схема КА «Канопус-В»

Служебная платформа предназначена для навигационного обеспечения, управления движением КА, а также осуществления вычислительных операций для ориентации КА в пространстве. В состав СП входят бортовой комплекс управления (БКУ) и служебные системы (СС). В свою очередь БКУ включает:

- бортовой вычислительной системы (БВС);
- систему управления движением и навигацией (СУДН);
- телекомандную систему (ТКС) в составе: бортовой аппаратуры командно-измерительной системы (БА КИС) и систему телеметрических наблюдений (СТН).

Служебные системы включают:

- систему энергоснабжения (СЭС);
- систему обеспечения теплового режима (СОТР);
- двигательную установку (ДУ).

Комплекс целевой аппаратуры предназначен для сбора и формирования видеоданных, последующей их передачи по радиолинии и включает:

- измерительную (съёмочную) аппаратуру;
- блок управления и формирования данных;
- радиолинию передачи целевой информации (РЛЦИ).

В состав измерительной аппаратуры входят две съёмочные системы, обеспечивающие съёмку поверхности Земли и формирование микрокадров:

- панхроматическая съёмочная система (ПСС);
- многозональная съёмочная система (МСС).

Первая позволяет получать видеоданные поверхности земли в одном спектральном диапазоне (панхроматическом) с геометрическим разрешением в 2,1 метр. Вторая система – в четырех основных спектрах, с геометрическим разрешением 10,5 метров.

ПСС имеет отличительную, от многих других съёмочных систем, особенность. Регистрация оптической информации (видеоданных) КЦА осуществляется методом «коленчатого вала».

В ПСС находятся 6 матриц ПЗС, расположенных в шахматном порядке в два ряда (относительно направления движения спутника по орбите). В момент съёмки все 6 матриц регистрируют видеоданные и в ПСС формируются 6 микрокадров. Фактически, эти 6 микрокадров являются одним кадром видеоданных съёмки. Микрокадры видеоданных каждого последующего кадра, заполняют пустоты между микрокадрами предыдущего кадра, тем самым обеспечивается связь между соседними кадрами видеоданных. Схема перекрытия видеоданных, получаемых ПСС, показана на рис.2.8.

МСС обеспечивает многозональную съёмку посредством фиксации спектральной информации на 4-х независимых друг от друга матрицах, каждая из которых светочувствительна к определенным спектральным диапазонам.

Каждый кадр и микрокадр съёмки содержит видеоданные, служебную и телеметрическую информации.

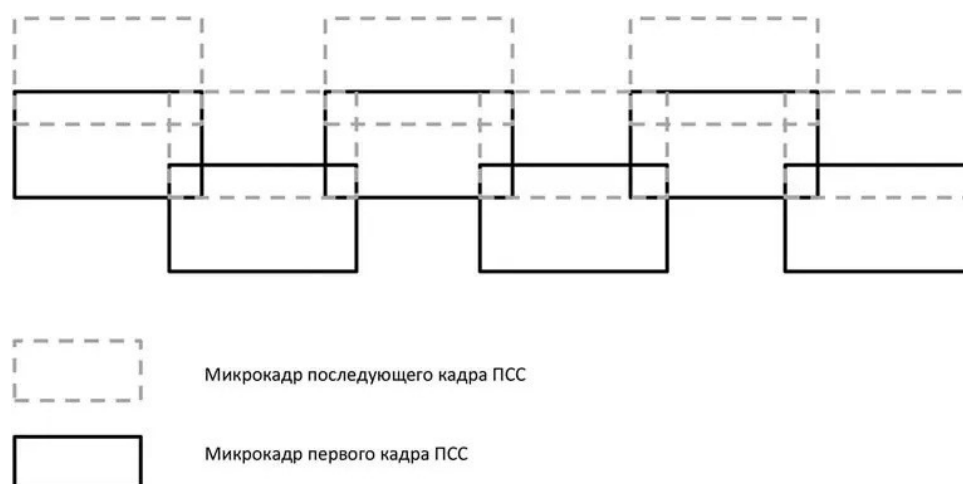


Рис. 2.8. Схема перекрытия видеоданных, получаемых ПСС

Кадр съемки МСС и микрокадр ПСС содержат по 985 строк и по 1920 столбцов видеоданных. Каждый последующий микрокадр ПСС имеет с предыдущим микрокадром ПСС продольное перекрытие в 80 пиксельных строк. Поперечное перекрытие между микрокадрами составляет 70 пиксельных столбцов. В таблице 2.9 приведены характеристики и параметры обеих съемочных систем.

Таблица 2.9. Основные характеристики ПСС и МСС

Основные характеристики	ПСС	МСС
Количество спектральных каналов	1	4
Спектральные диапазоны (по уровню 0,5), мкм	Панхроматический (0,54 – 0,86)	Синий (0,46-0,52) Зеленый(0,51-0,60) Красный (0,63-0,69) Ближний ИК (0,75-0,84)
Фокусное расстояние, мм	1797,5	359,5
Относительное отверстие	1:10,3	1:5,6
Светопропускание	0,7	0,6 – 0,8
размер матрицы (пиксель)	1920x985	1920x985
При съемке в надир: Полоса захвата, км Геометрическое разрешение, м Линейное разрешение на местности в зачетных условиях, м	23,3 2,1 2,7	20,1 10,5 12
Площадь, снимаемая одновременно, км	45,3 (6 микрокадров)	195

В состав блока управления и формирования данных входит энергонезависимое бортовое запоминающее устройство (БЗУ) объемом 2x24ГБ, обеспечива-

ющее как хранение видеоинформации на срок не менее 5-ти суток, так и буферирование ее в режиме непосредственной передачи по каналу РЛЦИ. Основные характеристики РЛЦИ представлены табл. 2.10:

Таблица 2.10. Основные характеристики РЛЦИ

Диапазон рабочих частот, МГц	8048 - 8381,5
Количество каналов передачи	2
Скорость передачи данных, Мбит/с	61,4...122,88

После запуска первых спутников данной группировки начались работы по разработке спутников с более высоким пространственным и спектральным разрешением. В 2017 г параметры системы предусматривали пространственное разрешение 0,7-1,0 м. К 2024 г требования к аппаратуре спутника пересмотрены и речь идет о создании белорусско-российского спутник ДЗЗ с разрешением 0,35 м. Для управления им и приема космической информации разрабатывается новое техническое и программное обеспечение для наземной инфраструктуры. Запуск планируется в 2028 году.

Вопрос 2.6. Источники получения данных дистанционного зондирования сверхвысокого разрешения.

Вопрос 2.6.1. Спутник ДЗЗ QUICKBIRD 2

Спутник QuickBird (от англ. «Быстрая Птица») - первый космический аппарат способный получать высокоточные коммерчески доступные изображения Земли высокого пространственного разрешения был запущен 18 октября 2001 г. с авиабазы Ванденберг (США). Владельцем спутника является компания Digital-Globe (США). Спутник был выведен на околоземную солнечно-синхронную орбиту высотой 450 км, обеспечивающую его прохождение над любым районом Земли каждые 1-5 дней (в зависимости от широты). Спутник Quick Bird (рис. 2.10) предназначен для получения цифровых изображений земной поверхности с пространственным разрешением 61 см в панхроматическом режиме и 2,44 м - в мультиспектральном режиме при съемке в надир. Основными преимуществами спутника являются широкая полоса охвата (16,5 Км) и высокая метрическая точность. Расчетный срок пребывания на орбите составляет около 7 лет.

Технические характеристики целевой аппаратуры представлены в табл. 2.11.

Таблица 2.11. Технические характеристики спутника QuickBird-2

Наименование КА	QuickBird-2
Страна	США
Разработчики	BATC, Kodak, Fokker Space
Оператор	DigitalGlobe
Дата запуска	18.10.2001
Выведен из эксплуатации	Декабрь 2014 г.
Ракета-носитель (РН)	Delta-2
Орбита: высота, км наклонение, град период обращения, мин количество витков в сутки время пересечения экватора, час	Солнечно-синхронная утренняя 450 97,2 93,4 14,9 10:30
Платформа: углы отклонения, град	BCP-2000 50
Срок активного существования, лет	5-7
Период повторного наблюдения, сутки	5-7
Мощность, Вт	3200
Размер КА, м × м	3,0×1,8
Масса КА, кг	1028
Технические характеристики бортовой аппаратуры	
Наименование съемочной аппаратуры	BHRC-60
Фокусное расстояние, м	8,8
Диаметр главного зеркала, см	60
Относительное отверстие	1:14,7
Угол поля зрения, град	2,12
Спектральные диапазоны, мкм	Панхроматический: 0,45-0,90 Синий: 0,45–0,51 Зеленый: 0,51–0,58 Красный: 0,63–0,69 Ближний ИК: 0,77–0,90
Размер элемента PAN, мкм	12
Размер элемента MS, мкм	48
Количество элементов PAN, мкм	27568
Количество элементов MS, мкм	6892
Динамический диапазон, бит	11
Разрешение на местности PAN, м	0,60
Разрешение на местности MS, м	2,4
Ширина полосы захвата, км	16,5
Емкость ЗУ, Гбит	128
Скорость передачи данных, Мбит/сек	320

Вопрос 2.6.2. Спутник ДЗЗ IKONOS

Космический аппарат IKONOS был запущен 24 сентября 1999 г. с авиабазы Ванденберг (США). Владелец спутника до начала 2006 г. являлась компания Space Imaging (США). В феврале 2006 г. компания OrbImage объявила о слиянии с фирмой Space Imaging. Объединенная компания получила новое название GeoEye. Спутник был выведен на низкую солнечно-синхронную орбиту высотой 680 км, обеспечивающую его прохождение над любым районом Земли каждые 1-5 дней (в зависимости от широты). Спутник Ikonos предназначен для получения цифровых изображений земной поверхности с пространственным разрешением 1 м в панхроматическом режиме и 4 м - в мультиспектральном режиме. Основными преимуществами спутника Ikonos являются высокая маневренность и, как следствие, возможность съемки больших площадей за один проход (до 5000 км²), а также возможность получения стереопар с одного витка. Расчетный срок пребывания на орбите составляет около 7 лет.

Основные технические характеристики космического аппарата представлены в табл. 2.12.

Над созданием КА трудились крупнейшие компании американского ВПК, которые разрабатывают разведывательную космическую технику для Пентагона: Lockheed Martin (спутниковая платформа), Eastman (оптоэлектронная система) и Raytheon (системы передачи и обработки изображений). КА IKONOS представлял собой яркий пример конверсии военных технологий в гражданский сектор.

Спутник был выведен на низкую солнечно-синхронную орбиту высотой 681 км, обеспечивающую его прохождение над любым районом Земли каждые 1-5 дней (в зависимости от широты). Спутник за один проход покрывал площадь до 5 000 кв.м. За все время работы снимки полученные с ИСЗ Ikonos покрывают территорию площадью более 300 млн. кв. км. Выведен из эксплуатации в марте 2015 г., на данный момент с ИСЗ Ikonos доступны только архивные космические снимки.

Таблица 2.12. Технические характеристики КА IKONOS

Наименование КА	IKONOS
Страна	США
Разработчик	Lockheed Martin
Оператор	Maxar (быв. DigitalGlobe)
Ракета-носитель (РН)	Athena-2
Дата запуска	24.09.1999
Выведен из эксплуатации	Март 2015 г.
Орбита: высота, км наклонение, град	Солнечно-синхронная утренняя 681 98.2
Платформа: углы отклонения, град	LM-900 ±60

Срок активного существования, лет	>8.3
Период повторного наблюдения, сутки	2-3
Мощность, Вт	600
Размер КА, м×м	1.83×1.57
Масса КА, кг	726

Ядром спутника является разработанная фирмой Kodak оптико-электронная камера, включающая зеркальный объектив, набор матриц фотоприемных элементов и аппаратуру сжатия потока видеоданных. Камера позволяет получать изображения местности в полосе шириной 11 км в панхроматическом режиме с разрешением от 0.8 м и в мультиспектральном (4 канала, синий, зелёный, красный и ближний ИК) с разрешением от 3.2 м. Технические характеристики приведены в табл. 2.13.

Таблица 2.13. Технические характеристики съёмочной аппаратуры

Наименование съёмочной аппаратуры	OSA
Фокусное расстояние, м	10,0
Диаметр главного зеркала, см	70
Относительное отверстие	1:14,3
Угол поля зрения, град	0,93
Спектральные диапазоны, мкм	Панхроматический: 0,53-0,93 Синий: 0,45-0,52 Зелёный: 0,51-0,60 Красный: 0,63-0,70 Ближний ИК: 0,76-0,85
Размер элемента PAN, мкм	12
Размер элемента MS, мкм	48
Количество элементов PAN, мкм	13500
Количество элементов MS, мкм	3375
Динамический диапазон, бит	11
Разрешение на местности PAN, м	0,82
MS, м	3,28
Ширина полосы захвата, км	11.3
Емкость ЗУ, Гбит	80
Скорость передачи данных, Мбит/сек	320

Вопрос 2.6.3. Спутник *OrbView-3*

Космический аппарат OrbView-3 был запущен 26 июня 2003 г. с авиабазы Ванденберг (США). Владельцем спутника до начала 2006 г. являлась компания OrbImage (США). В феврале 2006 г. компания OrbImage объявила о слиянии с фирмой Space Imaging. Объединенная компания получила новое название GeoEye. Спутник был выведен на солнечно-синхронную орбиту высотой 470 км, обеспечивающую его прохождение над любым районом Земли каждые 1-5 дней (в зависимости от широты). Спутник OrbView-3 предназначен для получения

цифровых изображений земной поверхности с пространственным разрешением 1 м в панхроматическом режиме и 4 м - в мультиспектральном режиме. Преимуществом спутника OrbView-3 является возможность съемки больших площадей за один проход длительностью 10 мин до 20000 км² (разрешение 1 м, моно) или 7200 км² (разрешение 1 м, стерео). Расчетный срок пребывания на орбите составляет 5—7 лет.

Области применения данных дистанционного зондирования, полученных с КА Orb View:

- создание и обновление карт и планов масштабов 1: 5 000-1: 10 000;
- создание ЦМР на основе стереопар с точностью порядка 3 м;
- городское и земельное планирование;
- сельское и лесное хозяйство;
- мониторинг состояния окружающей среды;
- решение прикладных задач.

Технические характеристики спутника представлены в табл. 2.14, а целевой аппаратуры - в табл. 2.15

Высота аппарата – 1.9 м, диаметр со сложенными панелями солнечных батарей – 1.2 м, вес – 304 кг. Пять разворачиваемых панелей СБ с арсенид-галлиевыми фотоэлементами вырабатывают порядка 625 Вт электроэнергии. Платформа стабилизируется по трем осям и обеспечивает точность географической привязки спутника ±10–12 м.

Расчетная орбита КА – солнечно-синхронная, наклонением 97° и высотой 470 км. Такая орбита и способность аппарата отклонять оптическую ось от трассы полета до 45° позволяют менее чем через 3 дня совершать повторную съемку выбранного объекта.

Таблица 2.14. Технические характеристики КА OrbView-3

Наименование КА	DigitalGlobe (США)
Страна	США
Разработчик	Orbital Science Corporation
Оператор	GeoEye
Ракета-носитель (РН)	Pegasus XL
Дата запуска	26.06.2003
Орбита: высота, км наклонение, град	Солнечно-синхронная утренняя 470 97.2
Платформа: углы отклонения, град	STEP 45
Срок активного существования, лет	5
Период повторного наблюдения, сутки	3
Мощность, Вт	625
Размер КА, м×м	1.9×1.2
Масса КА, кг	360

Полезная нагрузка представляет собой сканирующую камеру, способную с расчетной орбиты делать снимки с разрешением 1 метр в панхроматическом

режиме и 4 метра в мультиспектральном. Вес камеры – 66 кг. Полоса обзора – 8 км. Скорость передачи данных – 150 Мбит/с.

Таблица 2.15. Технические характеристики съёмочной аппаратуры

Наименование съёмочной аппаратуры	OSA
Фокусное расстояние, м	10,0
Диаметр главного зеркала, см	70
Относительное отверстие	1:14,3
Угол поля зрения, град	0,93
Спектральные диапазоны, мкм	Панхроматический (0,45-0,90) Синий (0,45-0,52) Зеленый (0,52-0,60) Красный (0,63-0,70) БИК (0,76-0,90)
Размер элемента PAN, мкм	6
Размер элемента MS, мкм	24
Количество элементов PAN, мкм	8000
Количество элементов MS, мкм	2000
Динамический диапазон, бит	11
Разрешение на местности PAN, м	1,0
MS, м	4,0
Ширина полосы захвата, км	8
Емкость ЗУ, Гбит	32
Скорость передачи данных, Мбит/сек	150

Вопрос 2.6.4. Спутник ДЗЗ *Formosat-2*

Космический аппарат *Formosat-2* был запущен 21 мая 2004 г. космическим агентством Тайваня - NSPO (*National Space Organization*). Эксклюзивные права на поставку данных со спутника *Formosat-2* получила компания *SpotImage* (Франция). Спутник был выведен на солнечно-синхронную геостационарную орбиту высотой 891 км. Спутник *Formosat-2* предназначен для получения цифровых изображений земной поверхности с пространственным разрешением 2 м в панхроматическом режиме и 8 м - в мультиспектральном режиме. Основными преимуществами спутника являются высокая точность, маневренность (спутник может выполнять съемку с отклонением 45° от надира), возможность ежедневной съемки, а также более раннее прохождение над любой точкой Земли (9 ч 30 мин утра по местному времени, тогда как у большинства спутников - 10 ч 30 мин), что увеличивает возможность безоблачной съемки. Расчетный срок пребывания на орбите составляет не менее 5 лет.

Основные технические характеристики космического аппарата представлены в табл. 2.16, а целевой аппаратуры представлены в табл. 2.17.

FormoSat-2 пересекал экватор в 9.30 утра, в то время как большинство других оптических спутников пересекают экватор на один час позже. Такое раннее время прохождения местности, в сочетании с ежедневным повторным наблюдением, увеличивало возможности получения качественного изображения в экваториальных областях, где утром формируются конвективные облака.

Табл. 2.16. Технические характеристики КА FORMOSAT-2

Наименование КА	FORMOSAT-2
Страна	Тайвань
Разработчик	EADS Astrium
Оператор	NSPO (National Space Organization, Тайвань) Эксклюзивные права на поставку данных: Airbus Defence and Space
Ракета-носитель (РН)	Taurus XL
Дата запуска	21.05.2004
Орбита: высота, км наклонение, град	Солнечно-синхронная утренняя 891 99.1
Платформа: съёмочная аппаратура углы отклонения, град	Leostar-500-XO RSI ±45
Срок активного существования, лет	5
Период повторного наблюдения, сутки	1
Размер КА, м×м	2,4×1,6
Масса КА, кг	760

Космические снимки Formosat-2, имеют разрешение на местности 2 м в панхроматическом диапазоне и 8 м в четырех спектральных диапазонах. Съемка выполнялась оптико-электронной камерой RSI с фокусным расстоянием 2.9 м при ширине полосы захвата 24 км. Оптическая ось телескопа могла отклоняться на угол $\pm 45^\circ$ вдоль и поперек плоскости орбиты, что позволяло получать одновитковые и межвитковые стереопары. Камера RSI на одном витке могла выполнить съемку одного маршрута 3000 км × 24 км, двух стереопар 100 км × 24 км, четырех маршрутов 100 км × 24 км или восьми кадров 24 км × 24 км.

Табл. 2.17. Технические характеристики бортовой аппаратуры

Наименование съёмочной аппаратуры	RSI
Фокусное расстояние, м	2,9
Диаметр главного зеркала, см	60
Относительное отверстие	–
Угол поля зрения, град	–
Спектральные диапазоны, мкм	Панхроматический (0,45-0,90) Синий (0,45-0,52) Зеленый (0,52-0,60)

	Красный (0,63-0,69) БИК (0,76-0,90)
Размер элемента PAN, мкм	–
Размер элемента MS, мкм	–
Количество элементов PAN, мкм	31547
Количество элементов MS, мкм	7834
Динамический диапазон, бит	8
Разрешение на местности PAN, м	2
MS, м	8
Ширина полосы захвата, км	24
Емкость ЗУ, Гбит	41
Скорость передачи данных, Мбит/сек	120