



**MOMIT**  
**MULTI-SCALE OBSERVATION  
AND MONITORING OF RAILWAY  
INFRASTRUCTURE THREATS**

**Договор гранта: №777630**  
**Аббревиатура проекта: MOMIT**

**Наименование проекта:**  
**Наблюдение и мониторинг угроз железнодорожной  
инфраструктуры**

*Проект, софинансируемый программой Европейского союза Horizon 2020 - Shift2Rail для исследований, разработки технологий и демонстрации*

---

# **D1.1**

## **Отчет о технологиях, вызовах и проблемах**

---

**Документ содержит 41 страницу, включая приложения**

**Дата последнего обновления: 30.01.2018**

<b>Date</b>	<b>Text affected</b>		
2018	Рабочий перевод на русский язык	Куприяновский В.П. Овсянников М.Л. Шаклеин А.Г.	<a href="mailto:vpkupriyanovsky@gmail.com">vpkupriyanovsky@gmail.com</a> <a href="mailto:m.ovsiannikov@rut.digital">m.ovsiannikov@rut.digital</a> <a href="mailto:a.shaklein@rut.digital">a.shaklein@rut.digital</a>



## Оглавление

<b>1</b>	<b>Резюме</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Обзор беспилотных технологий</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>RPAS для мониторинга активов</b> .....	<b>6</b>
<b>3.1</b>	<b>Дистанционно пилотируемые авиационные системы</b> .....	<b>6</b>
3.1.1	Самолет VTOL .....	7
3.1.2	Самолеты с неподвижным крылом .....	8
<b>3.2</b>	<b>Оборудование RPAS</b> .....	<b>9</b>
3.2.1	Видимые световые камеры .....	9
3.2.2	УФ-камеры для контроля короны .....	10
3.2.3	Термокамеры.....	12
3.2.4	Мультиспектральные камеры.....	12
3.2.5	SAR (радар с синтезированной апертурой) .....	14
3.2.6	Системы LIDAR.....	14
<b>3.3</b>	<b>Системы управления RPAS и безопасность</b> .....	<b>17</b>
3.3.1	Автопилоты .....	17
3.3.2	Системы уклонения от объектов .....	18
<b>4</b>	<b>Спутниковые технологии для мониторинга активов</b> .....	<b>20</b>
<b>4.1</b>	<b>Спутниковые системы SAR</b> .....	<b>21</b>
4.1.1	Данные COSMO-SkyMed .....	23
4.1.2	TerraSAR-X.....	25
4.1.3	Sentinel-1 .....	26
4.1.4	RADARSAT 2.....	27
4.1.5	ALOS-2 .....	28
<b>4.2</b>	<b>Оптическая спутниковая система</b> .....	<b>30</b>
4.2.1	DigitalGlobe .....	33
4.2.2	Pléiades .....	35
4.2.3	Spot 6/7 Constellation .....	36
4.2.4	Deimos-2 .....	36
4.2.5	Созвездие RapidEye .....	37
4.2.6	Созвездие SENTINEL-2 .....	37
<b>5</b>	<b>Выводы и рекомендации</b> .....	<b>39</b>

## Используемые аббревиатуры

<b>ASI</b>	Agenzia Spaziale Italiana (Italian Space Agency) <b>Итальянское космическое агентство</b>
<b>BI</b>	Business Insider <b>Бизнес-инсайдер</b>
<b>DG</b>	DigitalGlobe —
<b>DoA</b>	Description of Action <b>Описание действия</b>
<b>EC</b>	European Commission <b>Европейская комиссия</b>
<b>ESA</b>	European Space Agency <b>Европейское космическое агентство</b>
<b>GNSS</b>	Global Navigation Satellite System <b>Глобальная навигационная спутниковая система</b>
<b>INS</b>	Inertial Navigation System <b>Инерциальная навигационная система</b>
<b>IMU</b>	Inertial Measurement Unit <b>Инерциальная измерительная установка</b>
<b>LIDAR</b>	Light Detection and Ranging <b>Обнаружение, идентификация и определение дальности с помощью света</b>
<b>MP/MPx</b>	Megapixel —
<b>PTP</b>	Picture Transfer Protocol <b>Протокол передачи изображений</b>
<b>RPAS</b>	Remotely Piloted Aircraft System <b>Дистанционно пилотируемая авиационная система</b>
<b>RTK</b>	Real-Time Kinematics <b>Кинематика реального времени</b>
<b>SAR</b>	Synthetic Aperture Radar <b>Радиолокатор с синтезированной апертурой</b>
<b>TRL</b>	Technology Readiness Level <b>Уровень готовности технологий</b>
<b>TT&amp;C</b>	Telemetry, Tracking, and Command <b>Телеметрия, слежение и управление</b>
<b>UAV</b>	Unmanned Aerial Vehicle <b>Беспилотный летательный аппарат</b>
<b>UV</b>	Ultra Violet <b>Ультрафиолет</b>
<b>VTOL</b>	Vertical Takeoff and Landing remotely piloted vehicle <b>Дистанционно пилотируемое транспортное средство вертикального взлета и посадки</b>
<b>WV</b>	WorldView —

---

# Отчет о технологиях, вызовах и проблемах

---

## 1 Резюме

Целью этого технологического обследования является оценка доступных беспилотных и / или дистанционно пилотируемых технологий, подходящих для удовлетворения потребностей в области мониторинга инфраструктуры железных дорог.

Двумя эталонными технологиями, которые будут проанализированы, являются удаленные пилотажные системы (RPAS) и спутниковые системы.

Обе системы могут быть оснащены различными датчиками (оптическими, от ультрафиолетовых до температурных диапазонов, радары) и, следовательно, для проведения различного анализа в качестве ответа на различные потребности.

Более того, конкретные характеристики двух систем позволяют охватить одно из основных потребностей в инфраструктуре управления: частый мониторинг с высокой и очень высокой детализацией и по широким областям вдоль инфраструктуры.

В отчете основное внимание будет уделено современным технологиям, даже если в некоторых случаях для сферы действия этого проекта может быть выбрана более ранняя версия или что-то немного другое.

## 2 Обзор беспилотных технологий

RPAS и спутниковая система являются двумя беспилотными и дистанционно контролируемые приборами, включенными в настоящий отчет. Преимущество использования обоих этих типов инструментов заключается в их взаимодополняемости для мониторинга инфраструктуры.

RPAS позволяет получать данные с более высоким разрешением, чем спутниковые системы (крупномасштабный мониторинг), а способность варьировать полезную нагрузку в зависимости от требований миссии делает их более гибкими, чем спутниковая система. RPAS имеют множество ограничений, таких как необходимость сертифицированного пилота и разрешения на полет, оптимальные погодные условия и т. д.

Для сравнения, спутники позволяют обследовать широкие области, без необходимости пилота, и, вопреки RPAS, полезная нагрузка радара может работать в любых погодных условиях. Спутники имеют более низкую гибкость в плане приобретения, поскольку предопределенные проходы над областью интереса предопределены. Более низкое разрешение захваченных данных в сочетании с широким охватом делает спутниковые системы более подходящими для мониторинга малого масштаба (от 1:2500).

## 3 RPAS для мониторинга активов

RPAS является одной из областей технологий, изученных с целью проведения этого технологического анализа. В первой части этого раздела рассматриваются как платформы Vertical Takeoff, так и Landing (VTOL), а также платформы Fixed Wing, в которых перечислены преимущества и недостатки этих систем в отношении объема проекта MOMIT.

Во второй части этой главы обсуждаются современные параметры полезной нагрузки для мониторинга инфраструктуры, с учетом их уровней готовности к технологиям, цены и простоты интеграции на платформе RPAS.

Наконец, объясняются различные режимы управления RPAS и обсуждаются автопилоты для систем RPAS с учетом вариантов безопасности и последствий, а также поддерживающих систем для предотвращения препятствий.

### 3.1 Дистанционно пилотируемые авиационные системы

За последние несколько лет использование RPAS для служебных задач неуклонно растет. BI Intelligence в своем отчете от августа 2017<sup>1</sup> года прогнозирует, что стоимость рынка беспилотных летательных аппаратов для индустрии инфраструктуры составит 20 миллиардов долларов США.

Для этой цели доступны несколько технологий с различными характеристиками, позволяющими различным приложениям и реагировать на различные потребности пользователей в области управления инфраструктурой.

Двумя основными семействами являются самолеты Вертикального взлета и посадки (VTOL) и самолеты с фиксированным крылом. Ниже приводится обзор этих технологий RPAS с целью определения их характеристик и возможностей основных приложений.

<sup>1</sup> <http://www.businessinsider.fr/us/commercial-uav-market-analysis-2017-8/>

### 3.1.1 Самолет VTOL

Вертикальные взлетно-посадочные (VTOL) самолеты способны парить, взлетать и приземляться вертикально. Типичными платформами VTOL, представленными на рынке, являются вертолеты и мультикоптеры.

Возможность зависания транспортных средств VTOL в сочетании с возможностью перемещения в любом направлении делает их идеальными для детального мониторинга и контроля конструкции.

Основным недостатком обычных самолетов VTOL по сравнению с самолетами с неподвижным крылом является более короткое время полета, требующее многократных полетов для обследования больших площадей.

#### Мультикоптеры (Multi-rotors)

Multi-rotors ротационные летательные аппараты с более чем двумя роторами. Как правило, Multi-rotors на рынке имеют 4 (квадро-), 6 (гекса-), 8 (окто -) (рис. 3-1) конфигурации ротора, иногда в коаксиальной конфигурации (два ротора на одно плечо). Преимущество Multi-rotors над другими системами VTOL, такими как вертолеты, – отсутствие механической сложности, что значительно снижает затраты на техническое обслуживание.



*Рисунок 3-1 Harrier Industrial; высокопроизводительный коаксиальный октокоптер от VulcanUAV<sup>2</sup>*

Преимущество Multi-rotors с числом роторов выше 4 – теоретическое увеличение избыточности; в случае единственного отказа двигателя / пропеллера воздушное судно может по-прежнему контролироваться по осям тангажа и валка, увеличивая шансы пилота на безопасную посадку.

#### Вертолеты

Основным преимуществом вертолетных платформ RPAS (рис. 3-2) по сравнению с многорежимными самолетами является увеличенное время полета. Основным недостатком вертолетов по сравнению с Multi-rotors является механическая сложность механических соединений в головке ротора, увеличение времени обслуживания и затрат.

Еще одним ограничением вертолета RPAS является сложность интеграции гибких полезных нагрузок, поскольку довольно часто в ходовой части платформы не так много места, либо из-за основного ротора значительно сложно интегрировать полезную нагрузку, предназначенную для просмотра вверх от кадра (например, для миссий требующих пролетать под мостами, чтобы проверить их).

<sup>2</sup> <http://vulcanuav.com/aircraft/>



*Рисунок 3-2 Вертолет RP 55*

### 3.1.2 Самолеты с неподвижным крылом

Самолеты с неподвижным крылом (рис. 3-3) состоят из жесткого крыла, способного генерировать подъем, имея переднюю воздушную скорость. Фиксированные крылья имеют гораздо более простую конструкцию, чем самолеты VTOL, и их возможности скольжения заставляют их использовать гораздо меньше энергии, чтобы летать на большие расстояния и обследовать большие площади, что делает их идеальными для контроля линейной инфраструктуры и окружающей среды.



*Рисунок 3-3 Самолеты фиксированного крыла QuestUAV<sup>3</sup>*

Недостатком самолетов с неподвижным крылом является их потребность в взлетно-посадочной полосе, которая отличается от препятствий, таких как деревья, линии электропередачи, здания и т. д. Для того, чтобы генерировать подъемы, неподвижные крылатые летательные аппараты должны находиться в постоянном движении, что затрудняет фокусировку на определенной функции инфраструктурных элементов. Они также имеют очень ограниченную способность переключать полезную нагрузку между миссиями, если полезная нагрузка отличается по размеру и весу (это может привести к смещению центра тяжести, что делает полет неустойчивым).

По сравнению с мультироторами (multi-rotors) потеря тяги двигателя не является критической проблемой для самолетов с неподвижным крылом. Если такое событие происходит, пилот может скользить по воздуху и безопасно приземлиться.

<sup>3</sup> <https://www.questuav.com/media/case-study/fixed-wing-versus-rotary-wing-for-uav-mapping-applications/>

## 3.2 Оборудование RPAS

### 3.2.1 Видимые световые камеры

В приложениях аэросъемки, использующих камеры видимого света, одним из наиболее важных параметров, которые следует учитывать, является измерение расстояния по земле (GSD). GSD – это расстояние между центрами пикселей, измеренными на земле для изображений с воздуха или пространства.

В рамках этого отчета были проанализированы несколько камер с объективами для параметра GSD. Для вычислений GSD использовалась следующая формула:

$$P = \frac{\theta \frac{2\pi}{360^\circ} r}{N_x g}$$

где:

$\theta$  – поле зрения линз в градусах

$r$  – высота в метрах для полета

$N_{x, y}$  – число пикселей в направлении  $x$  или  $y$

$g$  – эффективное покрытие пикселей

$P$  – длина в метрах для каждого пикселя камеры

Для этого отчета были сопоставлены технические характеристики трех различных высококачественных камер:

- Sony a7R (36,4 MP)
- DJI Zenmuse X5S (20.8 MP)
- Hasselblad X1D (50 MP)

В таблице 3-1 приведены значения GSD для выбранных камер с образцовыми объективами. Исходными параметрами для расчета являются высота (50 м выбрано в качестве эталонного значения, фактическая высота полета зависит от условий полета и требований к полетам) и эффективного покрытия пикселей (90%). Представленные значения GSD относятся к самой низкой оси разрешения ( $N_y$ ), в результате чего расчеты показывают сценарий «наихудшего случая»:

Таблица 3-1 – GSD для нескольких комбинаций камер-объективов

Камера	Линза	Fov, град.	$N_y$ , px	$P_y$ , м
Sony a7R	Sony SEL35F28Z	63	4912	0.01243618156
Sony a7R	Sony SEL28F20	75	4912	0.01480497805
DJI Zenmuse X5S	DJI MFT 15mm f/1.7 ASPH Prime Lens	72	3965	0.01760735689
DJI Zenmuse X5S	Olympus M.Zuiko Digital 17mm f/1.8 Lens	65	3965	0.01589553053
Hasselblad X1D	Hasselblad XCD 3,5/30mm	71	6200	0.01110379721
Hasselblad X1D	Hasselblad XCD 3,5/30mm	56	6200	0.008757924562

Fov – угловое поле зрения (угол обзора линзы);

$N_y$  – количество пикселей в направлении  $y$ ;

$P_y$  – длина в метрах для каждого пикселя в направлении  $y$ .

Вышеприведенные цифры показывают, что с высококачественными коммерческими камерами можно получить GSD менее 15 мм.

Следует отметить, что выбор камеры с более высоким разрешением для увеличения GSD достигается ценой увеличения размера изображения каждого изображения, которое оказывает влияние на необходимое хранилище. Например, носитель данных на 16 ГБ может содержать в среднем 140 изображений, сделанных Hasselblad X1D (разрешение 8272x6200 px), что, возможно, увеличивает время обработки изображений и затраты на хранение. Для сравнения с той же SD-картой с самым высоким разрешением Sony a7R (7360x4912 пикселей) может поместиться в 196 изображений, а DJI Zenmuse X5S (4608x3456 пикселей) может поместиться в 430 изображений. Основные характеристики рассматриваемой камеры сообщаются ниже.

### **Sony a7R**

Sony a7R – относительно небольшая камера с форм-фактором (127x94x48 мм) весом 471 г (включая батарею и исключая объектив) и самую дешевую из всех камер, рассматриваемых для этого технического отчета. Разрешение 36,4 мегапикселей обеспечивает высокое значение GSD (менее 15 мм, в зависимости от выбранного объектива).

Добавленный вес от линзы делает общий вес этой подсистемы в диапазоне 591 – 671 г.

### **DJI Zenmuse X5S**

DJI Zenmuse X5S – самая легкая из всех сравниваемых камер весом 461 г (включая карданный). При 20 Мп он имеет самое низкое разрешение всех опрошенных технологий, но все же позволяет получить 20-мм GSD. Основным недостатком DJI Zenmuse в смысле применения является тот факт, что он является высокоприоритетным и работает только с мульти-роторами DJI.

### **Hasselblad X1D**

Hasselblad X1D – самая дорогая камера, выбранная для сравнения в этом отчете, которая поставляется с датчиком 50 МП (разрешение 8272x6200). Вес корпуса 725 г (1275 г с объективом Hasselblad XCD 3,5 / 30 мм) делает его самой тяжелой подсистемой камеры для всех опрошенных технологий.

Объектив, предложенный для Hasselblad X1D, может получить GSD 1,1 см в направлении y (минимальное количество пикселей) на высоте 50 метров. Уменьшая поле зрения, GSD может быть дополнительно увеличено. Из-за высокого разрешения этой камеры карта памяти 16 ГБ может содержать в среднем 140 изображений. При полете на высоте 50 метров и перекрытии 60% между изображениями это позволило бы исследовать приблизительно 34 000 квадратных метров земли (равную приблизительно 5 футбольным полям).

## **3.2.2 УФ-камеры для контроля короны**

Коронный разряд представляет собой электрический разряд, вызванный ионизацией жидкости, окружающей проводник, который электрически заряжен. Естественно, что спонтанные выбросы короны происходят в высоковольтных системах, если не

предпринимать шагов для ограничения напряженности электрического поля вокруг проводника<sup>4</sup>.

Эффект короны является нежелательным побочным эффектом при передаче электроэнергии высоким напряжением, так как они составляют значительное количество энергии. Кроме того, газы, образующиеся в результате коронного разряда, являются коррозионными, что может привести к дальнейшему повреждению высоковольтного оборудования.

Коронная активность излучает энергию в виде света в ультрафиолетовой полосе электромагнитного спектра (300-400 нм) со спектральными пиками при 340 и 360 нм. Небольшая часть энергии короны излучает в спектре солнечных слепотов (ниже 280 нм).

Спектр солнечных лучей является предпочтительным для мониторинга эффекта короны, поскольку озоновый слой блокирует свет ниже спектра 280 нм<sup>5</sup>.

В этом отчете сравниваются две системы контроля короны:

- Ofil DayCor Swift
- Uvirco CoroCAM 8

*Таблица 3-2 – Сравнение параметров камер CoroCAM 8 и DayCor SwiftOfil*

Параметр	DayCor Swift	CoroCam 8
<b>Weight</b>	1.4 kg	2.5 kg
<b>Dimensions</b>	247x125x73mm	215x200x155mm
<b>UV sensitivity</b>	2.6x10 <sup>-18</sup> W/cm <sup>2</sup>	2.05x10 <sup>-18</sup> W/cm <sup>2</sup>
<b>UV resolution</b>	Not specified	640x480 pixels
<b>IR resolution</b>	Not specified	640x512
<b>Visible Light resolution</b>	Not specified	768x576 pixels
<b>Spectral range</b>	240-280 nm	Not specified
<b>External power consumption</b>	6.5-10 V, 14 W	N/A (Built in battery)
<b>Communication interface</b>	RS-232	USB 2.0, Ethernet

### **Ofil DayCor Swift**

DayCor Swift был разработан для размещения на RPAS и небольших самолетах. Камера подходит для стандартных штативов и карданных креплений и оснащена стабилизирующей пластиной, что упрощает взаимодействие с воздушным судном. С весом 1,4 кг DayCor Swift – одна из самых легких ультрафиолетовых камер на рынке.



*Рисунок 3-4 Ofil DayCor Swift<sup>6</sup>*

<sup>4</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Corona\\_discharge](https://en.wikipedia.org/wiki/Corona_discharge)

<sup>5</sup> [http://www.specialcamera.com/MC/MCAM\\_Dev.pdf](http://www.specialcamera.com/MC/MCAM_Dev.pdf)

<sup>6</sup> <http://www.ofilsystems.com/products/rompact.html>

Будучи специально построенным с целью оснащения воздушных систем, учитывая цель этого отчета, его уровень готовности к технологиям (TRL) является самой высокой из всех сравниваемых камер.

### **Uvirco CoroCAM 8**

Uvirco CoroCAM 8 – это портативная камера для контроля короны. Преимуществом этой камеры является комбинированная ИК-камера FLIR, отсутствующая в DayCor Swift. Поскольку камера является карманной системой, ее основным недостатком является необходимость изменения системы, чтобы интегрировать ее с другими системами на платформе.

### **3.2.3 Термокамеры**

По словам демонстрантов, которые будут реализованы в рамках проекта, тепловые камеры будут также использоваться для мониторинга безопасности сети железных дорог или обнаружения горячей точки. Для сравнения этой технологии были выбраны две модели камер: Workswell WIRIS 640 и FLIR Vue Pro R 640. В таблице 3-3 представлены обе рассматриваемые системы.

*Таблица 3-3 – Сравнение основных параметров Workswell WIRIS 640 и Flir Vue Pro R 640*

Параметр	Workswell WIRIS 640	FLIR Vue Pro R 640
<b>Resolution</b>	640 x 512 pixels	640 x 512 pixels
<b>Dimensions</b>	135 x 77 x 69 mm	57 x 44 x 44 mm
<b>Weight</b>	< 390 g	92 - 110 g
<b>Spectral Range</b>	7.5 – 13.5 $\mu$ m	7.5 – 13.5 $\mu$ m
<b>RGB camera</b>	1600 x 1200 pixels	N/A
<b>Interfaces</b>	PWM, SBUS, External trigger,	PWM, USB, Mavlink
<b>Sensitivity</b>	0.05°C (50mK) 0.03°C (30mK) available on request	No information in datasheet
<b>Temperature ranges</b>	-25°C to +150°C -40°C to +550°C (optional +1 500°C on request)	-25°C to +135°C -40°C to +550°C
<b>Accuracy</b>	$\pm$ 2% or $\pm$ 2°C (In high temperature range 0°C to +550°C)	+/-5°C or 5% of reading in -25°C to +135°C range +/-20°C or 20% of reading in -40°C to +550°C range
<b>Built-in memory</b>	32 GB	Depends on SD card

Обе камеры имеют сопоставимые параметры, и только дифференцирующий параметр является RGB-камерой на борту WORKSWELL WIRIS 640 и меньшим размером и весом в случае решения FLIR. Окончательный выбор датчика может быть выполнен после того, как будут определены все требования клиента (например, необходимость подачи видеосигнала RGB вместе с подачей тепловой камеры).

### **3.2.4 Мультиспектральные камеры**

Для целей настоящего отчета охватываются две широко доступные мультиспектральные камеры: Parrot SEQUOIA и Micasense RedEdge. В таблице 3-4 показано сравнение двух систем с подробной информацией о каждой камере в следующих подразделах.

Таблица 3-4 – Сравнение основных параметров Parrot SEQUOIA и Micasense RedEdge

Пункт	Parrot SEQUOIA	Micasense RedEdge
<b>Bands</b>	4 (Green, Red, Red Edge, Near-infrared)	5 (Blue, Green, Red, Red Edge, Near-infrared)
<b>RGB camera</b>	16 MPx	3.6 MPx
<b>Dimensions</b>	56 x 41 x 28 mm	121 x 66 x 46 mm
<b>Weight</b>	135 g	180 g
<b>GSD at 100m</b>	13 cm/pixel	8.1 cm/pixel
<b>Interfaces</b>	WiFi, Serial (PTP)	Serial, Ethernet, WiFi, External trigger, GPS
<b>Other</b>	-	Custom bands (400-900nm)

В таблице 3-5 показаны длины волн, снятые всеми упомянутыми камерами вместе с их приложениями:

 Таблица 3-5 – Длины волн и их применение при мультиспектральной съемке<sup>7</sup>

Цвет	Длина волны	Применение
<b>Blue</b>	450-520 nm	deep water imaging (up to 50 m)
<b>Green</b>	520-600 nm	vegetation and water imaging (up to 30 m in clear water)
<b>Red</b>	600-690 nm	imaging vegetation, man made objects, soil, vegetation
<b>Red-edge</b>	680-730 nm	vegetation
<b>Near-infrared</b>	750-900 nm	vegetation

### Parrot SEQUOIA

Parrot SEQUOIA – самая доступная мультиспектральная камера, описанная в этом разделе. Он может обеспечивать показания в 4 диапазонах; Зеленый, красный, красный и ближний инфракрасный. Преимуществом этой камеры над MicaSense RedEdge является ее малый размер и вес, а также встроенная RGB-камера с хорошим разрешением.

Основным недостатком SEQUOIA является небольшое количество интерфейсов с автопилотом: поддерживается только последовательный интерфейс с использованием протокола передачи изображений, в противном случае для настройки параметров триггера камеры необходимо использовать соединение WiFi. Это явный недостаток, так как большинство автопилотов позволяют вручную запускать камеру для захвата изображений.

### Micasense RedEdge

Micasense RedEdge имеет 5 полос (по сравнению с 4 на SEQUOIA), и, кроме того, их длина волны может быть настроена. Количество интерфейсов позволяет полностью управлять запуском камеры любым автопилотом.

Размер и вес камеры не должны вызывать беспокойства в связи с предполагаемыми возможностями полезной нагрузки платформы.

<sup>7</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Multispectral\\_image](https://en.wikipedia.org/wiki/Multispectral_image), [https://en.wikipedia.org/wiki/Red\\_edge](https://en.wikipedia.org/wiki/Red_edge)

### 3.2.5 SAR (радар с синтезированной апертурой)

Радиолокатор с синтезированной апертурой – это хорошо зарекомендовавшая себя техника дистанционного зондирования. Радиолокационная система передает частотно-модулированные импульсы с высокой энергией на высокой частоте. Обратные рассеянные эхо-сигналы принимаются обратно радаром и сохраняются в памяти. Малая длина антенны, используемая в системах SAR, гарантирует освещение каждой точки на земле тысячами импульсов. Захваченные данные могут быть затем обработаны для получения 2D или 3D изображений с высоким разрешением рельефа<sup>8</sup>.

Технологии SAR имеют высокий уровень TRL, поскольку они широко используются космическим и оборонным секторами, хотя в качестве спутниковых систем, а не как оборудование системы RPAS.

Технологические исследования, выполненные для этого рабочего пакета проекта MOMIT, вернули только один результат радара SAR, подходящего для RPAS, и доступны коммерчески, основные характеристики которого приведены ниже.

В любом случае важно отметить, что из-за бюджетных ограничений высокая стоимость SAR для систем RPAS и конкретные требования к режиму полета и высоте полета, необходимые для анализа, полученного из данных SAR, в проекте MOMIT будут использоваться только спутниковые SAR-системы которые были на рассмотрении.

#### **Радиолокационная станция Aero**

SAR Aero разрабатывает, инженеров, продает и интегрирует компактные бортовые системы радиолокаторов с синтезированной апертурой (SAR) по коммерческой цене. Это делает системы SAR подходящими для пилотируемых и беспилотных правительственных или коммерческих миссий дистанционного зондирования в США<sup>9</sup>. SAR Aero утверждает, что произвела SAR с низкой площадью основания с размерами 18,5 x 11,4 x 14,2 см и весом всего 1,8 кг. Рекламируемое разрешение составляет от 0,3 до 3 метров и рабочий диапазон 1-10<sup>10</sup> км.

### 3.2.6 Системы LIDAR

На рынке имеется широкий спектр доступных систем LIDAR, которые легко доступны для беспилотных летательных аппаратов. В некоторых сценариях преимущество систем LIDAR над фотограмметрией для наземной съемки – способность распознавать множественные лазерные отражения в сигнале. Эта особенность сканеров LIDAR особенно полезна в сценариях, где деревья или кусты покрывают землю. Фактически, способность фильтровать несколько возвращаемых значений из LIDAR позволяет отличить отражение земли, что приводит к хорошей модели земли.

<sup>8</sup> <http://ieeexplore.ieee.org/document/4142964/>

<sup>9</sup> <http://saraero.com/about/>

<sup>10</sup> <http://saraero.com/store/radar-electronics/>

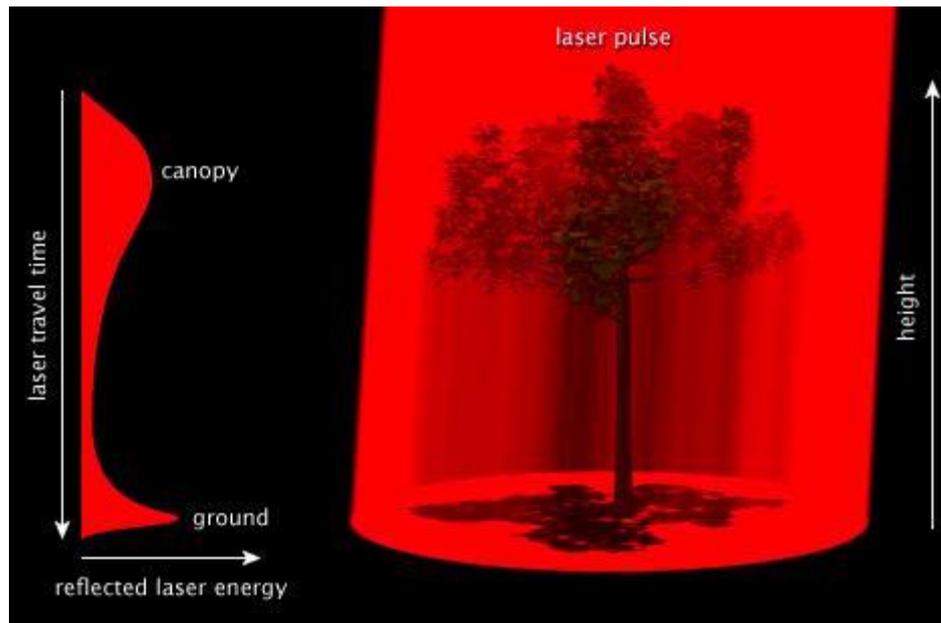


Рисунок 3-5 Визуализация энергии лазера по высоте деревьев<sup>11</sup>

Представленные ниже продукты часто основаны на существующей технологии сканера LIDAR (например, Velodyne LIDARS) и часто включают в себя еще один уровень аппаратного и программного обеспечения (для связи, точного позиционирования или обработки данных).

### **Routescene LidarPod**

Routescene LidarPod основан на Velodyne HDL-32e LIDAR. Общий вес полезной нагрузки составляет 2,8 кг с размерами 320 мм и диаметром 100 мм. Напряжение питания составляет 12-50 В постоянного тока, а типичная мощность - 28 Вт. LidarPod поставляется с плавной инерциальной навигационной системой GNSS, включая систему RTK (Real-Time Kinematics). Рекламируемые функции представлены в таблице 3-6.

Таблица 3-6 – Параметры LidarPod

Параметр	Значение
Horizontal Position Accuracy (with RTK)	0.008 m
Vertical Position Accuracy (with RTK)	0.015 m
Roll and Pitch Accuracy	0.15°
Heading Accuracy	0.07° (with 2 m GNSS antenna spacing)
Internal Filter Rate	1000 Hz
Output Data rate	up to 100 Hz

Датчик LIDAR на борту LidarPod имеет дальность до 100 метров (минимальный диапазон Velodyne HDL-32e составляет 1 метр). Он фиксирует до 700 000 точек в секунду и обеспечивает два возвращаемых значения (самый сильный и последний возврат) в режиме двойного возврата.

<sup>11</sup> <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/ForestCarbon/page5.php>

Горизонтальное поле зрения LidarPod составляет 41 градус.

### **Phoenix Ranger-UAV**

Phoenix Ranger-UAV является самым тяжелым решением LIDAR, охватываемым в этом разделе весом 5,44 кг и габаритами 308 x 180 x 129 мм для датчика и 161 x 118 x 96 мм для навигационной системы. Потребляемая мощность составляет 90 Вт при 12-28 В.

Подобно LidarPod, эта система оснащена навигационной системой. Точность позиционирования составляет 1 см + 1 ppm по горизонтали.

Датчик LIDAR включает в себя до 920 м диапазона при 60% отражательной способности (минимальный диапазон для этой системы составляет 3 метра). Он способен захватывать до 500 000 точек измерения в секунду. Ranger-UAV обеспечивает до 7 возвратов за один импульс.

### **Phoenix Scout**

Phoenix Scout – это система 1,65 кг, основанная на сканере Velodyne Puck LIDAR. Имея размеры 160 x 116 x 116 мм, это самая маленькая и самая легкая система, описанная в этом разделе. Система навигации имеет схожие характеристики с той, что была покрыта системой Phoenix Ranger-UAV с точностью положения 1 см + 1 ppm по горизонтали RMS. Velodyne Puck LIDAR имеет дальность до 120 метров. Подобно Velodyne HDL-32e, он может выводить до 2 возвратов за импульс и производить до 600 000 точек в секунду (в режиме двойного возврата). Вертикальное поле зрения этой системы составляет 30 градусов (от +15,0° до -15,0°).

## 3.3 Системы управления RPAS и безопасность

### 3.3.1 Автопилоты

Автопилоты являются важнейшими элементами любой системы полета, поскольку они управляют состоянием самолета, обрабатывают стабилизацию и интерпретируют запросы оператора и преобразуют их в соответствующее действие (например, изменение высоты, скорости, угла и т. д.).

Все коммерческие автопилоты оснащены несколькими режимами полета:

- Режимы управления низким уровнем – позволяет осуществлять прямое управление тягой и скоростью вращения (скорость или акробатический режим) или углы (режим ориентации) вокруг всех осей
- Режимы управления высоким уровнем – позволяет контролировать скорость набора высоты и поворот на земле
- Автоматический режим – позволяет летательному аппарату летать по заранее определенному пути или путевым точкам (требуется GPS или другая система позиционирования)
- Автономный режим – система вычисляет траекторию полета во время работы на основе информации от различных источников датчиков. Этот режим имеет низкий TRL и обычно недоступен в коммерческих системах

#### Автопилот Veronte

Embenton Veronte Autopilot – это высоконадежная система авионики повышенной надежности для расширенного управления RPAS, настраиваемая и поддерживающая множество полезных нагрузок и периферийных устройств. Таблица 3-7 представляет собой сводку основных функций системы.

Таблица 3-7 – Основные параметры Veronte Autopilot

Параметр	Значение
Interfaces	1x I2C, 1x UART, 2x CAN Bus, 1x RS232, 1x RS485
PWM	Up to 16
Power supply	2 x (6.5 - 36V) DC, 8 - 18 W
GNSS positioning	Dual GNSS, RTK & RTCM, GLONASS
Platform types	Multicopters, Planes, VTOL etc.
Dimensions and weight	65 x 38 x 65 mm, 190 g (90 g without enclosure)

Очевидным преимуществом Veronte Autopilot над Pixhawk 2 (см. ниже) является безопасность (дополнительные конфигурации включают в себя тройные или четырехкратные резервные системы) и конкретные сертификаты (автопилот Veronte выполняет, среди прочих, DO-178C – соображения программного обеспечения в сертификации бортовых систем и оборудования – standard<sup>12</sup>)

<sup>12</sup> <https://products.embention.com/veronte/uav-autopilot>

## **Автопилот Pixhawk 2**

Pixhawk 2 – автопилот с открытым исходным кодом с тройным избыточным инерционным измерительным блоком (IMU). Преимущество использования решения с открытым исходным кодом - возможность изменять исходный код для разработки пользовательских функций системы (например, для внутренней навигации). В таблице 3-8 приведены основные характеристики Pixhawk 2.

*Таблица 3-8 – Основные параметры автопилота Pixhawk 2<sup>13</sup>*

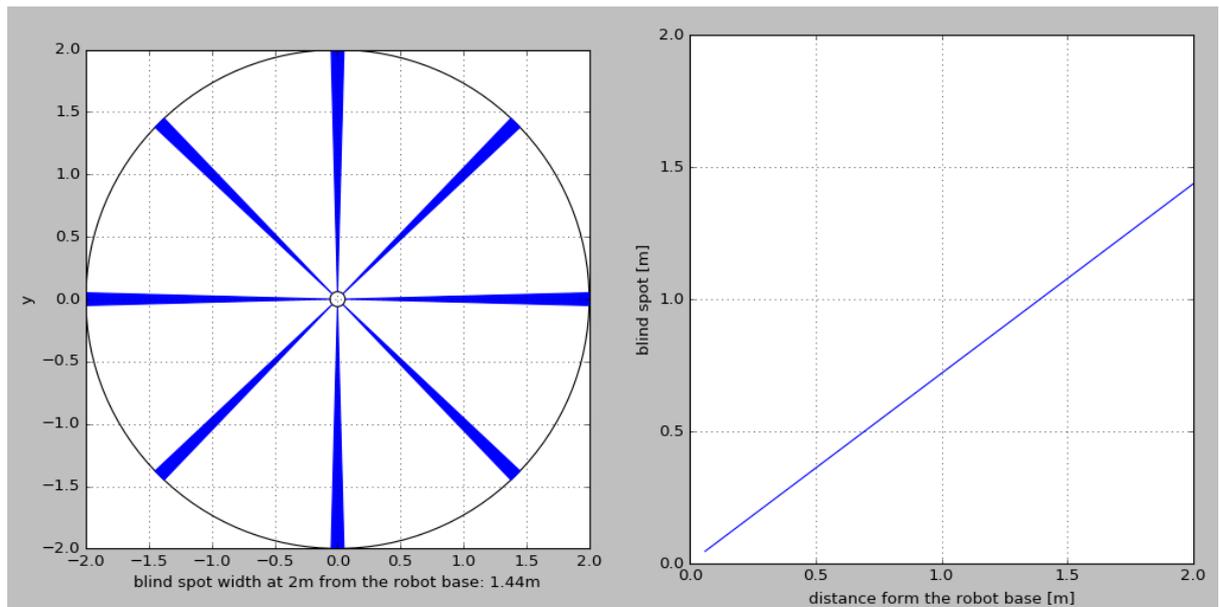
Параметр	Значение
Processor	32bit STM32F427 Cortex M4, 168 MHz, 256 KB RAM, 2 MB Flash, 32 bit STM32F103 failsafe co-processor
Interfaces	5x UART, 2x CAN, S.BUS, Spektrum DSM, PPM, RSSI, I2C, SPI
PWM	8 PWM channels with failsafe and manual override, 6 auxiliary.
Power supply	Triple redundant (power module input at 4.8-5.4V), Servo rail input (4.8V to 5.4V), USB power input (4.8V to 5.4V)
GNSS positioning	Here+ RTK ready GNSS system
Platform type	Multi-rotors, Planes, VTOL etc.
Dimensions and weight	95 x 45 x 30 mm, 75 g (including enclosure)

Низкая цена этого решения в сочетании с тысячами летных часов, выполняемых сообществом с использованием имеющегося программного обеспечения для Pixhawk 2 (ArduCopter и Px4), делает его привлекательным автопилотом для включения в систему. Потенциальными проблемами с использованием Pixhawk 2 является отсутствие участия в тестировании формальных методов в производстве программного обеспечения и отсутствие сертификации.

### **3.3.2 Системы уклонения от объектов**

На момент написания этого отчета на рынке не было обнаружено автономной системы избегания объектов. Terabee выпускает решение TeraRanger Tower, которое поддерживает базовое уклонение объекта для автопилота Pixhawk 2 (с прошивкой ArduCopter). При установке датчика тока объекты с шириной более 1,44 метра (далее называемые слепые пятна) могут быть надежно обнаружены в поле зрения датчика на расстоянии 2 метров, как показано на рисунке 3-6.

<sup>13</sup> <http://www.proficnc.com>, <https://pixhawk.org/modules/pixhawk2>



*Рисунок 3-6 Визуализация покрытия TeraRanger Tower на расстояниях до 2 м*

Опыт Terabee в области разработки датчиков, управления роботами и навигации позволил разработать современную надежную систему предотвращения препятствий для повышения безопасности операций и персонала. Разработанная система также может использоваться в качестве системы внутреннего позиционирования в условиях отказа от GPS.

## 4 Спутниковые технологии для мониторинга активов

В части наблюдения за Землей Спутниковая технология за последние годы значительно расширилась с точки зрения возможностей, доступности и применения. На самом деле, если верно, что с технологической точки зрения доступны новые спутниковые платформы, новые датчики с более высоким разрешением и новые спутниковые группировки (созвездия) с меньшим временем повторного посещения, открываются новые возможности использования спутниковых данных программой Copernicus, которая сократила для нулевых затраты на данные в среднем разрешении.

Программа **Copernicus** была специально разработана для удовлетворения потребностей служб Copernicus и их пользователей. В частности, Copernicus обслуживается набором специализированных спутников (семейств Sentinel) и некоторыми миссиями. С момента запуска Sentinel-1A в 2014 году Европейский союз привел в действие процесс размещения созвездия почти 20 спутников на орбите до 2030 года. Что касается возможного использования данных Copernicus в мониторинге инфраструктуры, важно отметить, что Среднее разрешение данных Sentinel не всегда является наиболее подходящим для мониторинга инфраструктуры. Действительно, в этой области обычно требуется очень высокая детальность. Во всяком случае, возможность свободного доступа к спутниковым данным позволила разработать новое приложение и использовать его и доработать его уже в консолидированном виде.

Два основных класса спутниковых датчиков, полезных для мониторинга железных дорог и в целом для мониторинга инфраструктуры, - это пассивный датчик и активные датчики: технологии, совершенно разные и способные предоставлять различную информацию и, следовательно, позволяя использовать несколько видов приложений.

Термин «Пассивный датчик» относится к датчику, способному захватывать электрооптические или просто оптические электромагнитные волны солнечного света и / или излучаемое инфракрасное излучение, отражаемое или излучаемое объектами на земле. Существует множество коммерческих оптических спутниковых систем, доступных и коммерческих: некоторые из них - Landsat, Pléiades, DigitalGlobe (GeoEye и WorldView), а также датчики Copernicus Sentinel 2. Что касается активных датчиков, оптические / тепловые данные позволяют обычно легко интерпретировать изображение, которое появляется как стандартная фотография, и поэтому особенно указываются, когда требуется классификация / идентификация объектов и изменений.

Термин Активные датчики обычно относятся к данным SAR (синтетическая апертура). Активное означает, что датчик генерирует излучение и собирает сигнал, отраженный освещенной областью, представляющей интерес. Это означает, что эти датчики могут работать день и ночь независимо от солнечного света. Изображения, собранные с помощью активных датчиков, сложнее интерпретировать как информацию, содержащуюся как в амплитуде, так и в фазовых составляющих сигнала. Поэтому данные SAR необходимо обработать, чтобы извлечь понятную информацию, которая, действительно, могла бы предоставить очень разные данные в отношении оптических изображений. Используя автоматическую и полуавтоматическую обработку, можно получить миллиметровую деформацию грунта и конструкций, обнаружение аномалий / изменений и т. д. Кроме того, длина волны электромагнитного поля позволяет проходить сигнал через атмосферу, заставляя эти датчики работать независимо от погодных условий. Cosmo-SkyMed, RADARSAT, TerraSAR-X и Sentinel 1 - всего лишь примеры доступных активных датчиков. На следующем рисунке 4-1 представлен широкий обзор основных датчиков спутников (оптических и SAR). Затем будут описаны две технологии, а некоторые основные доступные датчики перечислены и описаны в их основных спецификациях.



Рисунок 4-1 Обзор имеющихся спутников для наблюдения Земли

## 4.1 Спутниковые системы SAR

SAR-спутники являются активными датчиками в радиолокационных волнах электромагнитного поля. Ссылка на «радиолокатор с синтезированной апертурой», а не просто на радар, обусловлена необходимостью больших антенн для радиолокационных частот, которые невозможно установить на спутниках. Поэтому радиолокационный спутник работает в системах с «синтезированной апертурой» с бокообразной геометрией.

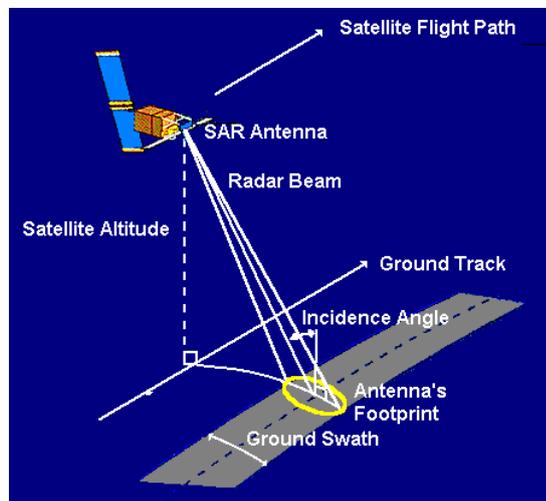


Рисунок 4-2 Геометрия стороны SAR

На рисунке 4-3 показан пример данных SAR с высоким разрешением.

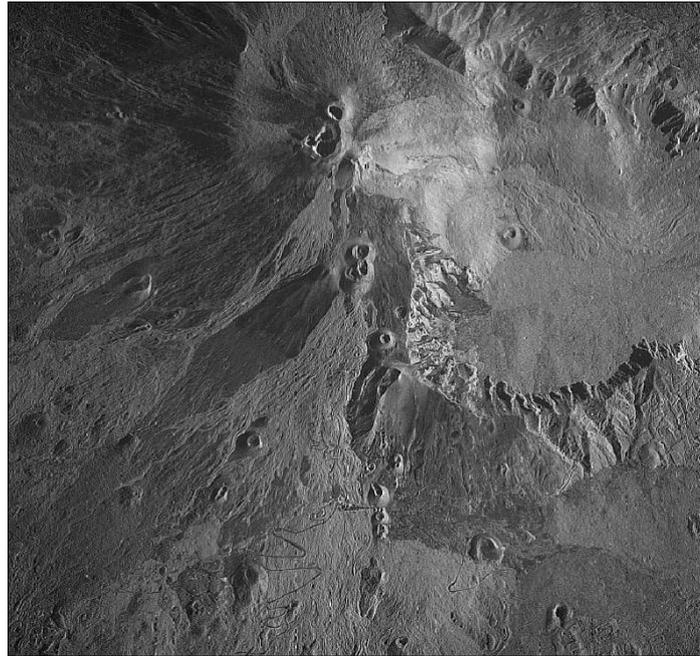


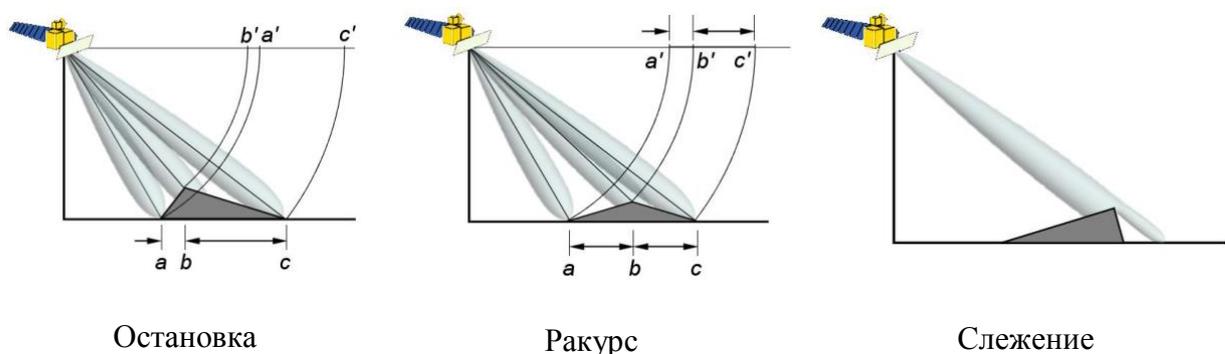
Рисунок 4-3 Этна (Италия) Изображение COSMO-SkyMed Spotlight (разрешение 1 м). © ASI

Одной из основных характеристик, характеризующих данные SAR, является длина волны сигнала:

- X-полоса (длина волны ~ 3,5 см) в виде COSMO-SkyMed и TerraSAR-X
- C-полоса (длина волны ~ 6 см) в виде RADARSAT-2
- L-диапазон (длина волны ~ 24 см) как ALOS-2

Как уже упоминалось, одной из наиболее важных характеристик этой технологии является погода и независимость от дневного света: длины волн проходят через облака, излучающий сигнал сам по себе не требует солнечного света.

С другой стороны, учитывая вышеуказанные преимущества, анализ и интерпретация изображений SAR не так очевидны, как может быть для оптических данных. Частично это связано с геометрией стороны, геометрические характеристики которой вызывают некоторые эффекты, искажающие изображение, так что объекты могут выглядеть по-разному в изображениях SAR, если они приобретаются с другим углом падения. На рис. 4-4 схематически показаны наиболее важные эффекты.



Остановка

Ракурс

Слежение

Рисунок 4-4 Три типичных эффекта SAR-изображений.

Реальные позиции  $a$ ,  $b$ ,  $c$  сообщаются на изображении как позиция  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , с явным искажением исходных позиций.

На разрешение данных SAR влияют несколько факторов: режим сбора данных, длина волны, ширина полосы и угол падения. Например, в режиме прожектора одна и та же область освещена в течение более длительного времени с помощью радара, и это приводит к более высокому разрешению относительно режима «проходной» ScanSAR.

Очень важной характеристикой систем SAR является возможность устанавливать одинаковые параметры сбора (режим, угол падения, поляризация) и, следовательно, собирать изображения, которые можно было бы напрямую сравнивать. Полученный сигнал не изменяется, если в области нет никаких изменений. С другой стороны, если есть изменения, они влияют как на амплитудную, так и на фазовую составляющие принятого сигнала. Будучи двумя изображениями, полученными с теми же параметрами, можно выделить различия из-за реальных изменений в области.

Основываясь на этом принципе, можно выполнить анализ обнаружения изменений (в основном основанный на различиях в амплитуде сигнала) и интерферометрический анализ (основанный на различиях в фазе сигнала и, следовательно, позволяющий обнаруживать очень небольшие изменения, являющиеся длиной волны порядка несколько см).

В таблице 4-1 и соответствующих синтетических таблицах следующих параграфов (таблицы 4-2-4-6) приведены технические характеристики основной миссии SAR \ спутниковый датчик.

*Таблица 4-1 – Основные доступные операционные датчики SAR и их ключевые характеристики*

Космическое средство	Время пересмотра, дней	Ширина полосы, км	Поляризация	Пространственное разрешение, м	Продолжительность архивации данных
COSMO-SkyMed	16	10-200	Single, Dual	1-100	2007-now
TerraSAR-X	11	10-100	Single, Dual, Quad	1-18	2007-now
Sentinel-1	12	80-400	Single, Dual	9-50	2013-now
RADARSAT-2	24	20-500	Single, Dual, Quad	1-100	2007-now
ALOS-2	14	25-490	Single, Dual, Quad	1-100	2014-now

#### 4.1.1 Данные COSMO-SkyMed

Система COSMO-SkyMed представляет собой созвездие четырех радиолокационных спутников (X-band) для наблюдения Земли, созданных Итальянским космическим агентством и итальянским министерством обороны. COSMO-SkyMed находится на переднем крае технологии и использует радиолокационные датчики высокого разрешения для наблюдения за Землей днем и ночью, независимо от погодных условий. Созвездие полностью функционирует с 2008 года. Его целью является наблюдение за Землей ради предотвращения чрезвычайных ситуаций (управление экологическими рисками), стратегия (защита и безопасность), научные и коммерческие цели, предоставление данных в глобальном масштабе для поддержки различные виды применения, среди которых управление рисками, охрана окружающей среды, разведка природных ресурсов, управление земельными ресурсами, оборона и безопасность.

Спутники принадлежат Итальянскому космическому агентству (ASI) и эксплуатируются e-GEOS и Telespazio по соглашению об обслуживании с ASI. Спутниковая группировка COSMO-SkyMed в дополнение к дневному / ночному и всепогодному сбору данных обеспечивает непревзойденную производительность с точки зрения разрешения изображений, времени повторного просмотра, быстрого охвата огромных территорий, что

позволяет использовать сервисы приложений, которые невозможны с любыми другими существующими SAR.

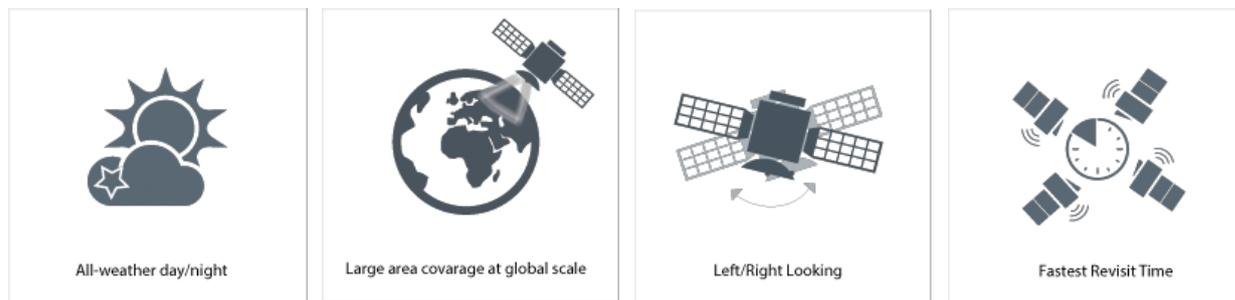


Рисунок 4-5 Основные характеристики зонда X-диапазона

X-диапазон позволяет проводить съемки с очень высоким разрешением, что позволяет обнаруживать детализированные функции, что невозможно с помощью радиолокационных спутников С-диапазона (например, Sentinel 1). Более того, созвездие 4 спутников – это система, способная изображать весь мир (включая Северный и Южный полюса, которые предотвращается для других систем SAR), предлагая превосходные возможности сбора данных, которые имеют жизненно важное значение для деятельности по мониторингу, наблюдению и разведке благодаря частому приобретению.

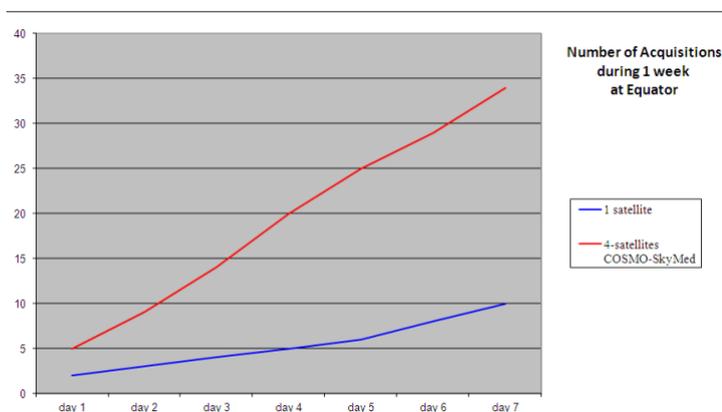


Рисунок 4-6 Возможности сбора данных COSMO-SkyMed

Все 4 спутника имеют одинаковую полезную нагрузку. На рис. 4-7 показаны различные режимы отображения COSMO-SkyMed.

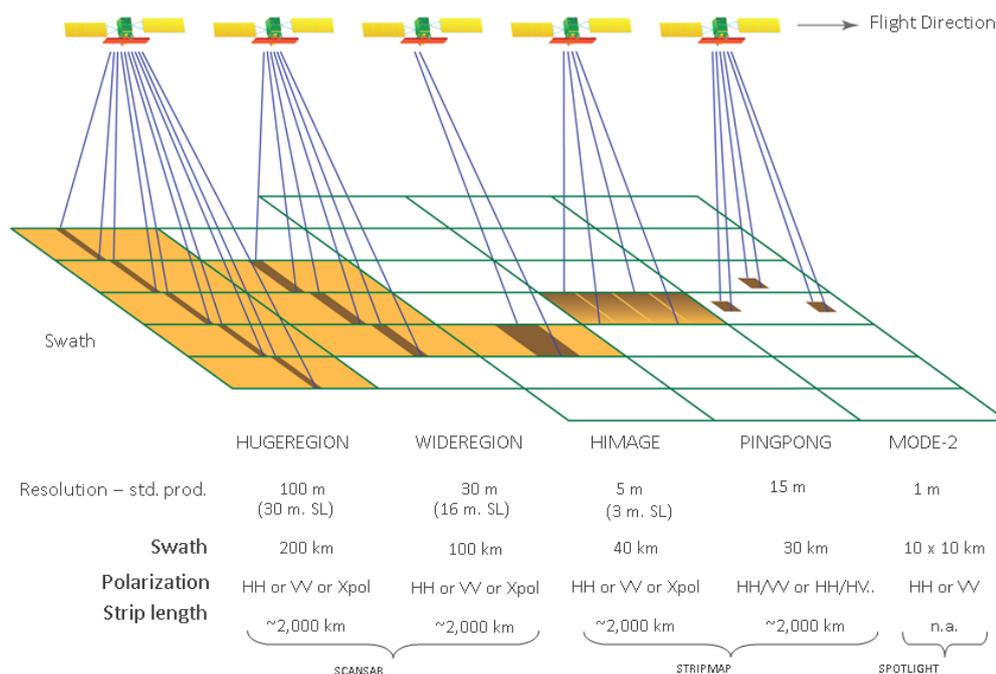


Рисунок 4-7 Режимы формирования изображений COSMO-SkyMed

Таблица 4-2 – Техническая спецификация COSMO-SkyMed

Mission/Satellite Sensor: COSMO-SkyMed					
<b>Operator</b>	Italian Space Agency (ASI)	<b>Spatial Resolution</b>	Single polarisation modes: -Spotlight: 1 m. -Stripmap: 3 - 15 m -ScanSAR: 30 or 100 m Two polarisation mode (PING- PONG): 15 m.	<b>Revisit time</b>	16 day repeat cycle
<b>Inclination</b>	97,9 degrees	<b>Swath</b>	10-200 km	<b>Altitude</b>	619 km
<b>Polarization</b>	Single: VV, HH, HV, VH Dual: HH/HV + VV/VH	<b>Frequency band</b>	Microwave: X- band, 9.6 GHz, with choice of 5 polarisation modes (VV, HH, HV, VH, HH/HV + VV/VH)	<b>Coverage</b>	Global
<b>Data distribution policy</b>	Commercial license	<b>Catalogue &amp; Access</b>	ASI manages and coordinates institutional and scientific users ordering by mean of the COSMO-SkyMED website ( <a href="http://www.cosmo-skymed.it/">http://www.cosmo-skymed.it/</a> ). Commercial users can access the system through the commercial provider e-GEOS ( <a href="http://www.egeos.it/">www.egeos.it</a> ).		

#### 4.1.2 TerraSAR-X

TerraSAR-X был запущен 15 июня 2007 года и работает с января 2008 года. 21 июня 2010 года TerraSAR-X присоединился к его близнецу TanDEM-X. Два спутника летают на расстоянии нескольких сотен метров и синхронно получают данные для генерации DEM.

Спутник TerraSAR-X эксплуатируется из Центра управления полетами в Оберпфaffenхофене. В базовой линии системы в Германии используются две наземные станции: Weilheim используется как станция TT & C, а Neustrelitz служит центральной приемной станцией для 300-мегабитного X-диапазона нисходящей линии связи. Кроме того, для продления концепции базовой станции приема доступны дополнительные станции прямого доступа - коммерческие партнеры Airbus.

Угол падения составляет от 20 до 45 градусов, как на правой, так и на левой сторонах (справа – номинальное направление взгляда). Ширина полосы варьируется от 5x10 км (SpotLight) до 100 км (ScanSAR), а разрешение варьируется от 1 м (SpotLight) до 18,5 м (ScanSAR). Продукция TerraSAR-X поставляется на сцене.

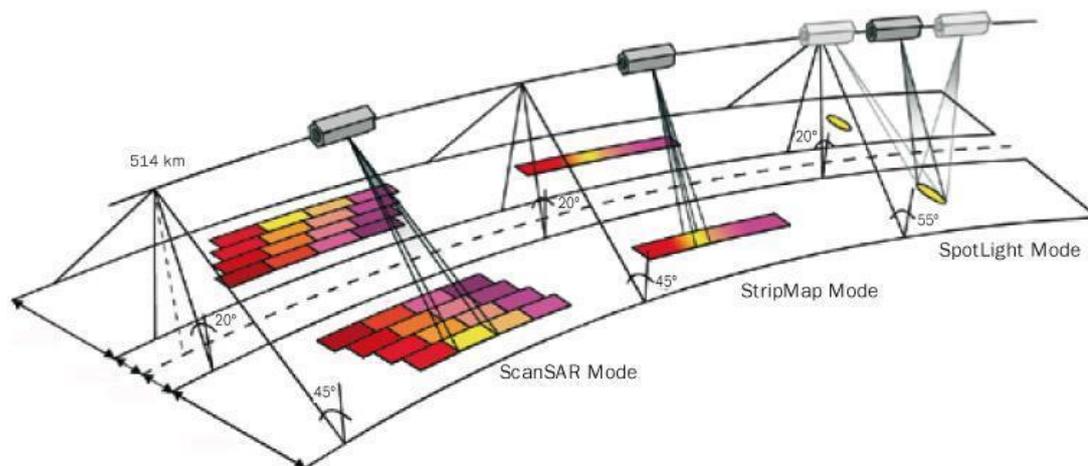


Рисунок 4-8 Режимы отображения TerraSAR-X

Таблица 4-3 – Техническая спецификация TerraSAR-X

Mission/Satellite Sensor: TerraSAR-X					
<b>Operator</b>	German Aerospace Center (DLR)	<b>Spatial Resolution</b>	Spotlight: 1.2 x 1 - 4 m Stripmap: 3 x 3 - 6 m ScanSAR: 16 x 16 m	<b>Revisit time</b>	11 day repeat cycle
<b>Inclination</b>	97,44 degrees	<b>Swath</b>	5-100 km	<b>Altitude</b>	514 km
<b>Polarization</b>	Single, Dual, Quad/Full	<b>Frequency band</b>	9.65 GHz, 300 MHz bandwidth, all 4 polarisation modes	<b>Coverage</b>	V ariable
<b>Data distribution policy</b>	Commercial license	<b>Catalogue &amp; Access</b>	Catalogue: <a href="http://terrasar-x-archive.infoterra.de/">http://terrasar-x-archive.infoterra.de/</a> ( <a href="http://www.geo-airbusds.com/en/2901-terrasar-x-data-request-form">http://www.geo-airbusds.com/en/2901-terrasar-x-data-request-form</a> ).		

### 4.1.3 Sentinel-1

Спутник несет С-диапазон Sentinel-1, состоящий из созвездия двух спутников Sentinel-1A (запущенных в 2014 году) и Sentinel-1B (запущенных в 2016 году), разделяющих одну и ту же орбитальную плоскость с 180 ° орбитальной фазированной разницей с целью обеспечения непрерывности данных SAR C-Band после выхода на пенсию ERS-2 и завершения миссии Envisat. Миссия обеспечивает независимый оперативный потенциал для непрерывного радиолокационного отображения Земли с повышенной частотой повторного посещения, охватом, своевременностью и надежностью для оперативных служб и приложений, требующих длительных временных рядов.

Каждый спутник Sentinel-1 находится на почти полярной солнечно-синхронной орбите с 12-дневным повторным циклом и 175 орбитами за цикл. Один спутник Sentinel-1

потенциально может отображать глобальные наземные массивы в режиме интерферометрического широкополосного раз в каждые 12 дней за один проход (восходящий или нисходящий). Созвездие с двумя спутниками предлагает 6-часовой точный цикл повторения на экваторе. Так как расстояние между орбитами колеблется в зависимости от широты, скорость повторения значительно выше на более высоких широтах, чем на экваторе.

Спутники Sentinel-1 будут работать в четырех режимах, показанных на рисунке 4-9:

- Режим карты полосы: 80-километровая полоса, пространственное разрешение 5x5 м
- Интерферометрический широкополосный режим: ширина 250 км, пространственное разрешение 5x20 м
- Экстра-широкий режим движения: 400-километровая полоса, пространственное разрешение 25x100 м
- Волновой режим: ширина 20 км x 20 км, пространственное разрешение 5 × 20 м

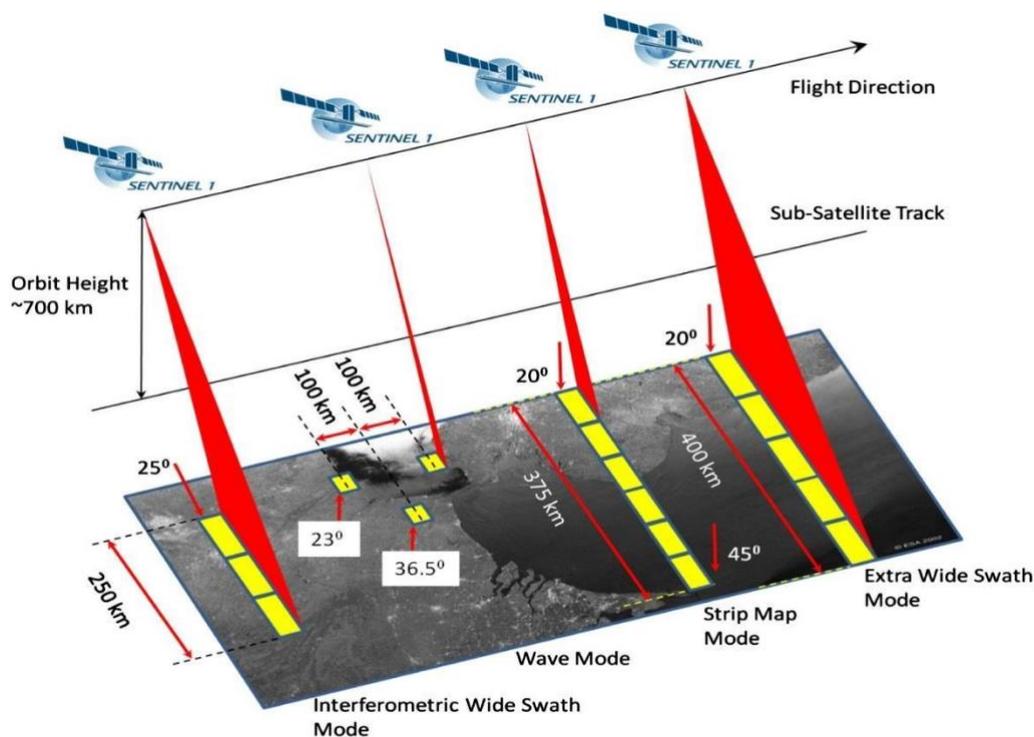


Рисунок 4-9 Режимы изображения Sentinel-1

#### 4.1.4 RADARSAT 2

RADARSAT-2 был запущен 14 декабря 2007 года. Это последующая миссия RADARSAT-1 и имеет одинаковую орбиту, но предоставляет новые возможности, которые включают в себя высококачественную визуализацию, гибкость поляризации, левый и правый варианты визуализации. Его левая способность позволяет космическому аппарату уникальную возможность визуализировать Антарктику на регулярной основе, предоставляя данные в поддержку научных исследований. Возможности RADARSAT-2 с множественным режимом отвечают растущим потребностям клиентов и способствуют развитию специализированных приложений.

RADARSAT-2 может формировать изображение с использованием поляризации HV, VH или VV в отличие от RADARSAT-1, которая предлагает только поляризацию HH, а

также предлагает новые UltraFine, WideUltraFine, ExtraFine, Ship Detection, Ocean Surveillance, Multi-Look Fine, Fine Quad-Pol и Стандартные режимы пучка с четырьмя полями.

Номинальная ширина вала колеблется от 18x8 км (Spotlight) до 500 км (ScanSAR Wide). Разрешение различных режимов съемки колеблется от 1 м (Spotlight) до 100 м (ScanSAR Wide).

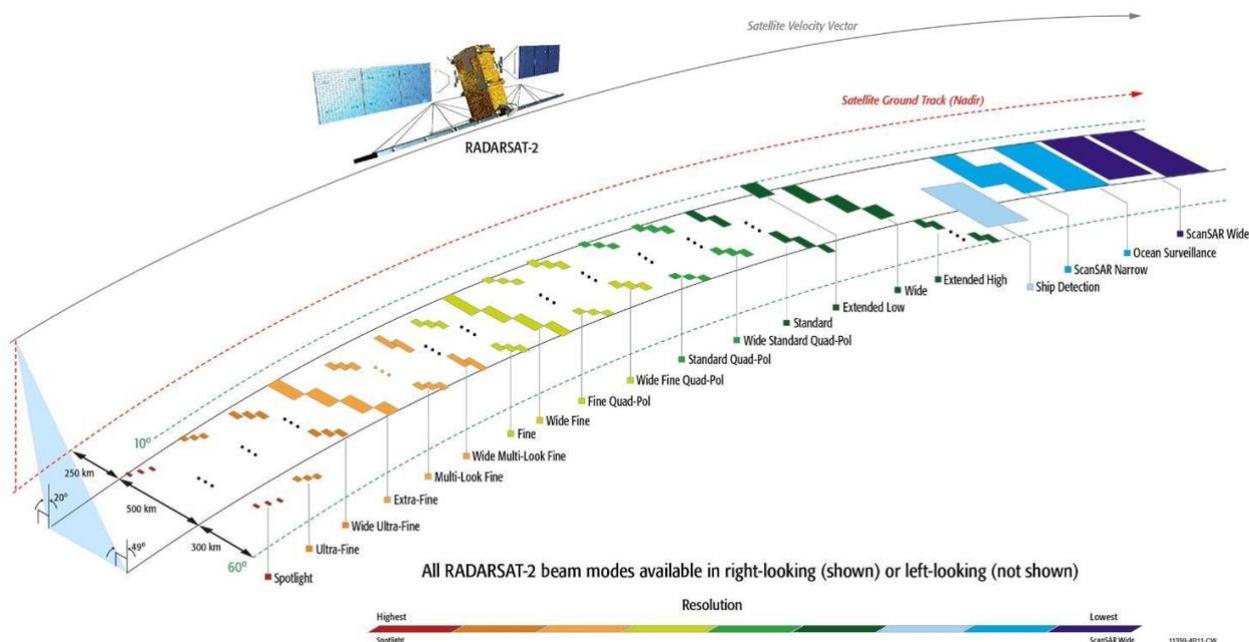


Рисунок 4-10 Режимы изображения Radarsat-2

Таблица 4-5 – Техническая спецификация Radarsat-2

Mission/Satellite Sensor: RADARSAT-2					
<b>Operator</b>	Canadian Space Agency (CSA)	<b>Spatial Resolution</b>	Depending on Acquisition mode: from 1 to 100meters	<b>Revisit time</b>	24 day repeat cycle
<b>Inclination</b>	98,6 degrees	<b>Swath</b>	20-500 km	<b>Altitude</b>	798 km
<b>Polarization</b>	Single, Dual, Quad	<b>Frequency band</b>	Microwave: C band 5.405 GHz. HH, VV, HV, VH polarization - includes Quad, 100MHz	<b>Coverage</b>	Global
<b>Data distribution policy</b>	Commercial license	<b>Catalogue &amp; Access</b>	Catalogues are available to end-users either locally, through the Acquisition Planning Tool, or by web through the National Earth Observation Data Framework web page at Natural Resources Canada. ( <a href="https://neodf.nrcan.gc.ca/neodf_cat3/index.php?lang=en">https://neodf.nrcan.gc.ca/neodf_cat3/index.php?lang=en</a> ).		

#### 4.1.5 ALOS-2

ALOS-2 – это последующая спутниковая миссия JAXA L-SAR компании ALOS (Daichi), одобренная правительством Японии в конце 2008 года. Общая цель заключается в обеспечении непрерывности данных, которые будут использоваться для картографии, регионального наблюдения, мониторинга стихийных бедствий и экологической мониторинг. Программа post-ALOS JAXA имеет целью продолжить использование данных

ALOS (по прозвищу Daichi), состоящую из ALOS-2 (SAR-спутник) и ALOS-3 (оптический спутник) в соответствии с новой космической программой Японии.

PALSAR-2 на борту ALOS-2 представляет собой датчик радиомаяка с синтезированной апертурой L-диапазона (SAR), микроволновый датчик, который излучает радиоволны L-диапазона и получает их отражение от земли для получения информации. PALSAR-2 имеет три режима изображения:

- Режим прожектора: самый подробный режим наблюдения с разрешением 1 на 3 метра (ширина наблюдения 25 км)
- Режим карты с полосой: режим с высоким разрешением с разрешением 3, 6 или 10 метров (ширина наблюдения 50 или 70 км)
- Режим ScanSAR: режим широкомасштабного наблюдения с шириной наблюдения 350 км или 490 км и разрешением 100 м или 60 м соответственно

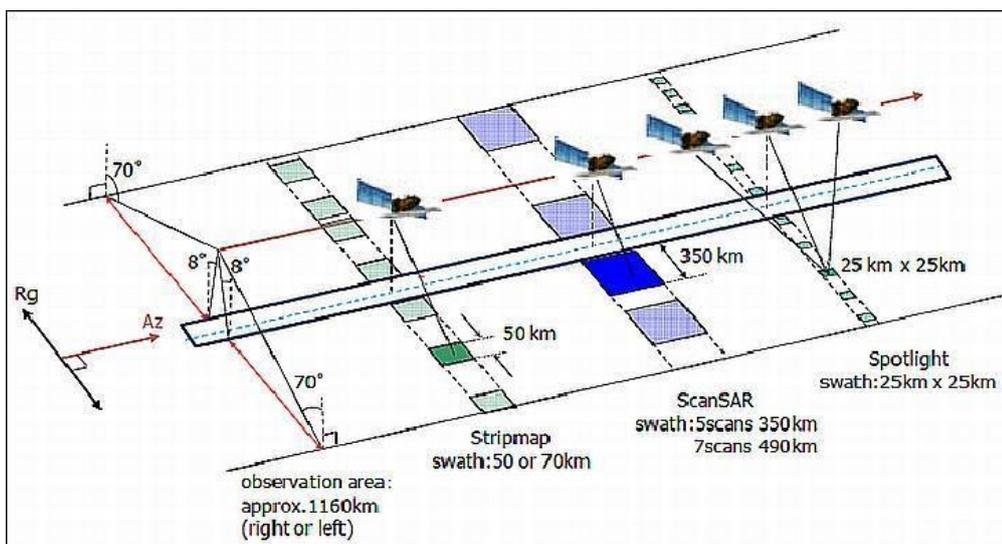


Рисунок 4-11 Режимы изображения Alos-2

Таблица 4-6 – Технические характеристики ALOS-2

Mission/Satellite Sensor: ALOS-2 (Palsar)					
<b>Operator</b>	JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency)	<b>Spatial Resolution</b>	Spotlight mode (1 to 3 m), Stripmap mode (3 to 10 m). Ultra-fine mode: 3 m High-sensitive mode: 6 m Fine mode: 10 m	<b>Revisit time</b>	14 day repeat cycle
<b>Inclination</b>	97,9 degrees	<b>Swath</b>	25-490 km	<b>Altitude</b>	628 km
<b>Polarization</b>	Single: HH, VV, HV, VH, Dual: HH+HV, VH+VV Full: HH+HV+VH+V V	<b>Frequency band</b>	Microwave: L-Band 1270 MHz; MW (1.0 cm - 100 cm) L-Band (2 - 1 GHz)	<b>Coverage</b>	Global
<b>Data distribution policy</b>	Commercial licence	<b>Catalogue &amp; Access</b>	<b>Catalogue:</b> <a href="https://www.gportal.jaxa.jp/gp/top.html">https://www.gportal.jaxa.jp/gp/top.html</a>		

## 4.2 Оптическая спутниковая система

Оптические спутниковые датчики требуют освещения солнца для визуализации. В зависимости от системы пассивные датчики обычно регистрируют электромагнитные волны в диапазоне видимых (~ 430-720 нм) и ближнего инфракрасного (~ 750-950 нм) света. Некоторые системы, такие как SPOT 5, также предназначены для получения изображений на средней инфракрасной длине волны (1580-1 750 нм).

Поскольку датчики имеют определенную чувствительность к длине волны, приобретение оптического инструмента разделяется на несколько изображений в зависимости от режима. Для мультиспектральных датчиков, таких как SPOT 6 и 7 и Pléiades, обычно разделять данные изображения на три основных спектральных диапазона: синий (~ 430-550 нм), зеленый (~ 500-620 нм) и красный (~ 590- 710 нм), а также дополнительный датчик для ближней инфракрасной области (~ 750-940 нм). С приобретенным набором данных различные длины волн могут быть проанализированы и использованы в качестве входных данных для дальнейшей обработки или более простой классификации функций.

Для гиперспектральных систем, таких как EnMAP, датчики покрывают меньшие спектральные диапазоны, а спектральный диапазон расширяется до инфракрасного диапазона до > 2000 нм. Приобретения в панхроматическом режиме регистрируют интересующую область с одним датчиком, охватывающим весь спектральный диапазон видимого света и ближней инфракрасной области (~ 470-830 нм). Разрешение панхроматического режима выше, чем мульти / гиперспектральный режим. Весь спектральный диапазон покрыт без разделения между разными длинами волн.

Поскольку оптическое изображение возможно только при освещении солнцем, изменения в сезонных циклах следует учитывать при планировании приобретений. Кроме того, облачное покрытие может затруднить сбор изображений, поскольку солнечный свет отражается облаками и регистрируется датчиками. Эти два параметра ограничивают наблюдение Земли пассивными датчиками, особенно в полярных областях с сезонными изменениями солнечного освещения и экваториальным поясом с постоянным облачным покрытием.

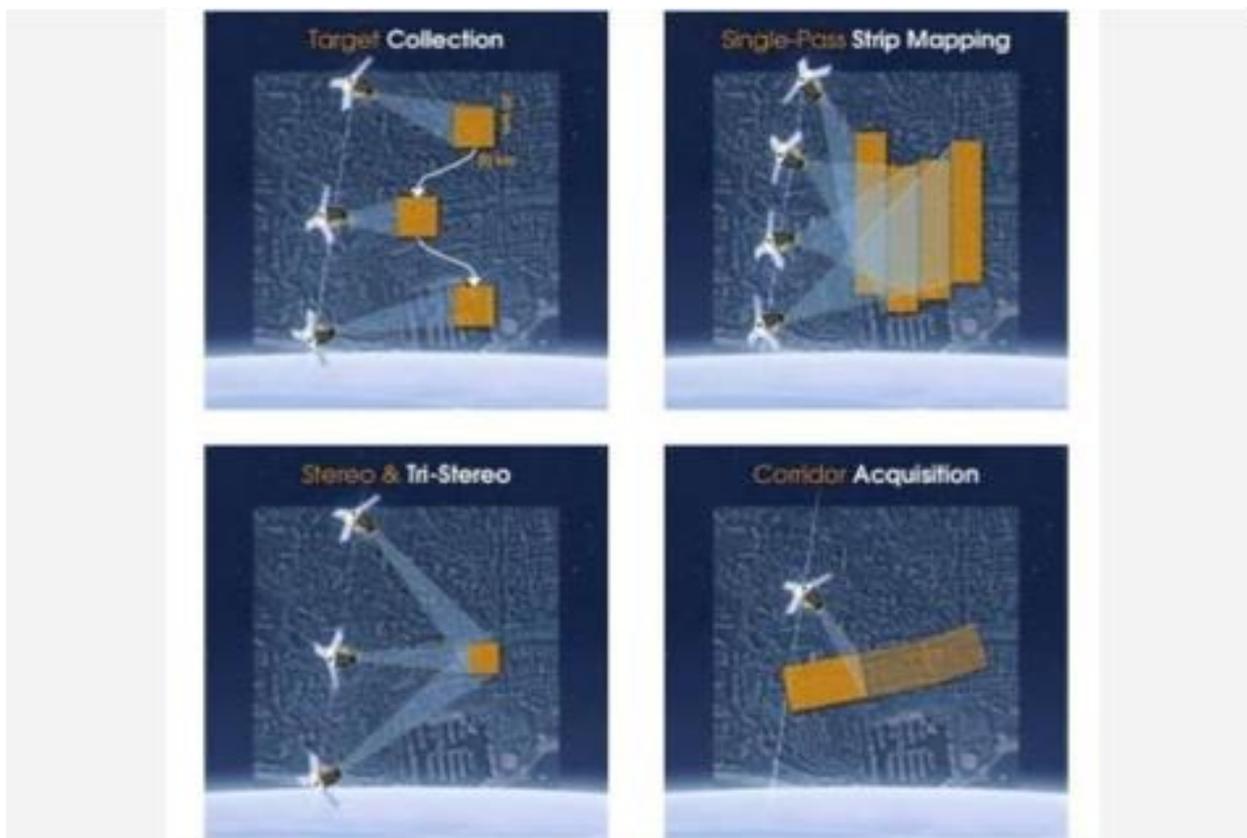
Оптические системы не могут обойти ограничения облака. Тем не менее, недавние нововведения с некоторыми спутниковыми системами позволяют операторам миссий чаще обновлять планы задач с учетом прогнозов облачного охвата. По сравнению с бывшими оптическими системами полученная эффективность сбора данных без облаков значительно улучшена. Например, отношение изображений, собранных с менее чем 10 процентами облаков, обычно улучшается с менее чем 30 процентов до примерно 60 процентов.

В прошлом оптическая спутниковая визуализация выполнялась на надире, то есть датчик смотрел прямо вниз с платформы на Землю, как первые спутники Landsat. Запуск SPOT 1 был революцией в этом отношении. Оснащенный зеркальной технологией, которая включала в себя коллекцию слева или справа от трека, SPOT 1 был первым спутником, способным получать изображения в интересующей области в определенное время.

В настоящее время многие оптические спутники являются маневренными, с разными уровнями скорости, чтобы перейти от одной цели к другой. Стандартные спутники оснащены импульсными колесами, в то время как самые гибкие спутники оснащены гироскопами управляющего момента (CMG), которые позволяют быстрее убивать между двумя последовательными целями. Такая производительность увеличивает количество изображений, которые могут быть собраны в течение одного и того же прохода, поскольку возможности сбора более многочисленны, конфликты между смежными запросами минимизированы, и несколько целей могут быть получены на одном и том же проходе на той же широте.

Продвинутая мобильность спутников позволяет различным сценариям сбора соответствовать потребностям пользователей:

- Целевая коллекция для изображения нескольких целей
- Отображение полосы для создания больших мозаик за один проход
- Стерефоническое и трехъядерное восприятие для точных трехмерных приложений
- Получение коридора для линейных функций, таких как береговые линии, границы, трубопроводы, дороги и т. д.



*Рисунок 4-12 Сценарии сбора*

Применяя тот же принцип, что и фотокамера, функция оптических спутников является компромиссом между охватом и разрешением (самым большим является масштабирование, наименьшее – поле зрения). Когда спутник оснащен многоспектральными полосами (цвет), изображения в панхроматическом режиме обеспечивают в четыре раза больше разрешения, чем мультиспектральный режим. Современные системы могут доставлять панхроматические приобретения с разрешением подметок и мультиспектральными приобретениями с разрешением приблизительно 2 метра.

Высококачественная визуализация позволяет пользователям идентифицировать небольшие объекты и объекты инфраструктуры из космоса. Более того, отражение от разных спектральных полос можно использовать для классификации типов растительного покрова и разновидностей растительности. Даже жизнеспособность растительности можно распознать с помощью инфракрасных и инфракрасных отражений.

Метод, называемый pan-sharpening, объединяет визуальную информацию мультиспектральных данных с пространственной информацией о панхроматических данных, в результате чего цветной продукт с более высоким разрешением равен панхроматическому разрешению. Этот процесс имитации изображения объединяет несколько изображений в составные продукты, чтобы генерировать больше информации, чем отдельные входные изображения.

Оптические данные просты в использовании для визуальной интерпретации, так как изображения представляют собой поверхность Земли так же, как и человеческий глаз. Количество спутников, летающих в любое время, прогрессировало в зависимости от увеличения скорости запуска и продолжительности полета.

С 1970-х годов средний срок службы миссии почти утроился, увеличившись с 3,3 лет в 1970-х годах до 8,6 лет (и все еще удлинняя); кроме того, пространственное разрешение возрастало от 80 м до менее чем на полметра и более поздние миссии оптического спутника, такие как миссия WorldView от World Globe, которая обеспечивает панорамные снимки размером в 31 см и 1,24 м мультиспектральные изображения.

Наличие долговременных рядов является важной потребностью. Несмотря на то, что с течением времени наблюдается тенденция к более точной съемке изображений, некоторые пространственные разрешения постоянно поддерживаются, особенно для глобальных исследований изменений и приложений, таких как сельское хозяйство, лесное хозяйство, региональное планирование и мониторинг окружающей среды.

В США «Landsat» имеет самый длинный рекорд непрерывного мониторинга изменений земной поверхности при среднем разрешении в течение почти 40 лет. Landsat 8 (первоначально названная Миссия обеспечения непрерывности данных Landsat – LDCM), запущенная в 2013 году, в сочетании с Landsat 7 как единственным спутниковым спутником спутника Landsat, обеспечивает непрерывное получение и доступность данных Landsat и их согласованность с данными из более раннего Landsat миссий.

Несмотря на то, что миссия ERS-1 завершилась в 1995 году, а ее преемник ERS-2 был закрыт в 2011 году, задача распространения этих наборов данных была перенесена на последующий экологический спутник ESA (завершен в 2013 году), после чего на орбите потребуется орбитальная орбита для обеспечения непрерывности временных рядов миссий.

Для некоторых конкретных доменов, таких как, например, домен кризисных событий, требующий частого мониторинга территории, другим ключевым фактором является время повторного посещения спутника. В этом отношении одной из самых инновационных тенденций новых миссий является запуск небольших спутниковых созвездий в виде PlanetLabs, которые сочетают в себе преимущество более низких затрат, связанных с высокотемпературным пересмотром.

В таблице 4-7 и связанных синтетических таблицах следующих параграфов (таблицы 4-8-4-17) суммируются технические характеристики основной оптической миссии \ спутниковый датчик, фактически работающий, разрешение до 10 м.

*Таблица 4-7 – Основные операционные оптические датчики (разрешение  $\leq 10$  м) и их ключевые характеристики*

Space asset	Revisit time	Swath (km)	Spatial resolution	Launch year
GeoEye-1 (DG Constellation)	~ 3 days	15,2	0,41 m Pan, 1,64 m MS	2008
WorldView-1 (DG Constellation)	~ 1,7 days (1 m GSD)	17,6	0,5 m Pan	2007
WorldView-2 (DG Constellation)	~ 1,1 days (1 m GSD)	16,4	0,31 m Pan, 1,84 m MS	2009
WorldView-3 (DG Constellation)	<1 days (1 m GSD)	13,1	0,31 m Pan, 1,24 m MS	2014
WorldView-4 (DG Constellation)	<1 days (1 m GSD)	13,1	0,31 m Pan, 1,24 m MS	2016
Pleiades	~ 4 days	20	0,5 m Pan, 2,00 m MS	2011/2012
Rapid-Eye	~ 3 days	78	6,5 m MS	2008
Sentinel-2	~ 5 days	290	10, 20 and 60 m MS	2015/2016
Spot-6-7	~ 4 days	14	1,5 m Pan, 6 m MS	2012/2014
Deimos-2	~ 2 days (average)	12	0,75 m Pan, 4 m MS	2014

## 4.2.1 DigitalGlobe

DigitalGlobe владеет и управляет большим созвездием коммерческих наземных спутников с высоким разрешением. Без учета спутников Ikonos и QuickBird, не менее оперативных, WorldView-1, GeoEye-1, WorldView-2, WorldView-3 и WorldView-4 способны собирать более одного миллиарда квадратных километров качественных изображений в год и предлагать внутрисуточные повторы вокруг Глобусу.



Рисунок 4-13 Созвездие DigitalGlobe

GeoEye-1 может собирать до 500 000 квадратных километров панорамированных многоспектральных изображений в день. Эта возможность идеально подходит для крупномасштабных проектов картирования. GeoEye-1 может пересматривать любую точку Земли каждые три дня или раньше.

WorldView-1 имеет среднее время пересмотра 1,7 дня и способен собирать более миллиона квадратных километров в день полуметровых изображений.

Благодаря своей улучшенной гибкости WorldView-2 способен действовать как кисть, подметая назад и вперед, чтобы собирать очень большие области мультиспектральных изображений за один проход. Только WorldView-2 способен собирать около 1 миллиона км<sup>2</sup> каждый день, удваивая емкость сбора нашего созвездия до почти 2 миллионов км<sup>2</sup> в день.

И сочетание увеличенной маневренности и большой высоты WorldView-2 позволяет ему, как правило, вернуться в любое место на Земле за 1,1 дня. Эти изображения обеспечивают беспрецедентную детализацию и геопространственную точность, расширяя возможности использования спутниковых изображений как на коммерческих, так и на государственных рынках.

DigitalGlobe добавляет к запланированному спутнику WorldView-3 возможность обнаружения СВЧ (коротковолновой инфракрасной области) (8-полосный инструмент), которая откроет множество новых гражданских и военных приложений. CAVIS будет следить за атмосферой и предоставлять данные коррекции для улучшения изображений WorldView-3, когда он обращает земные объекты сквозь дымку, сажу, пыль или другие препятствия этого типа.

Последний спутник созвездия DigitalGlobe – WorldView-4, работающий на ожидаемой высоте 617 км, обеспечивает панорамное разрешение 31 см и многоспектральное разрешение 1,23 м со средним временем ожидания менее 1 дня и возможностью сбора до 680 000 кв. км в день.

### GeoEye-1

Таблица 4-8 – GeoEye-1

Mission/Satellite Sensor: GeoEye-1					
<b>Operator</b>	Digital Globe Inc., USA	<b>Spatial Resolution</b>	0,41 m PAN 1,64 m MS	<b>Revisit time</b>	~ 3 days
<b>Inclination</b>	SSO 98°	<b>Swath</b>	15,2 km	<b>Altitude</b>	681 km

<b>Frequency band</b>	Pan: 450-900 nm Blue: 450-510 nm Green: 520-580 nm Red: 655-690 nm Near IR: 780-920 nm	<b>Data distribution policy</b>	Commercial	<b>Catalogue &amp; Access</b>	<a href="https://discover.digitalglobe.com/">https://discover.digitalglobe.com/</a>
-----------------------	--	---------------------------------	------------	-------------------------------	---

## WorldView-1

Таблица 4-9 – WorldView-1

Mission/Satellite Sensor: WorldView-1					
<b>Operator</b>	Digital Globe Inc., USA	<b>Spatial Resolution</b>	0,5 m Pan	<b>Revisit time</b>	~ 1,7 days (1 m GSD)
<b>Inclination</b>	SSO 98°	<b>Swath</b>	17,6 km	<b>Altitude</b>	496 km
<b>Frequency band</b>	Pan: 400-900 nm	<b>Data distribution policy</b>	Commercial	<b>Catalogue &amp; Access</b>	<a href="https://discover.digitalglobe.com/">https://discover.digitalglobe.com/</a>

## WorldView-2

Таблица 4-10 – WorldView-2

Mission/Satellite Sensor: WorldView-2					
<b>Operator</b>	Digital Globe Inc., USA	<b>Spatial Resolution</b>	0,31 m Pan 1,84 m MS	<b>Revisit time</b>	~ 1,1 days (1 m GSD)
<b>Inclination</b>	SSO 97,8°	<b>Swath</b>	16,4 km	<b>Altitude</b>	770 km
<b>Frequency band</b>	- Pan: 450-800 nm Multispectral: - 400-450 nm (coastal blue) - 450-510 nm (blue) - 510-580 nm (green) - 585-625 nm (yellow) - 630-690 nm (red) - 705-745 nm (red edge) - 770-895 nm (NIR1) - 860-1040 nm (NIR2)	<b>Data distribution policy</b>	Commercial	<b>Catalogue &amp; Access</b>	<a href="https://discover.digitalglobe.com/">https://discover.digitalglobe.com/</a>
<b>Data distribution policy</b>	Commercial		<b>Catalogue &amp; Access</b>	<a href="https://discover.digitalglobe.com/">https://discover.digitalglobe.com/</a>	

## WorldView-3

Таблица 4-11 – WorldView-3

Mission/Satellite Sensor: WorldView-3					
<b>Operator</b>	Digital Globe Inc., USA	<b>Spatial Resolution</b>	0,31 m Pan 1,24 m MS 3,7m SWIR 30 m (CAVIS)	<b>Revisit time</b>	<1 days (1 m GSD)

<b>Inclination</b>	SSO 98°	<b>Swath</b>	13,1 km	<b>Altitude</b>	617 km
<b>Frequency band</b>	- Pan: 450-800 nm Multispectral: - 400-450 nm (coastal blue) - 450-510 nm (blue) - 510-580 nm (green) - 585-625 nm (yellow) - 630-690 nm (red) - 705-745 nm (red edge) - 770-895 nm (NIR1) - 860-1040 nm (NIR2)	<b>Data distribution policy</b>	Commercial	<b>Catalogue &amp; Access</b>	<a href="https://discover.digitalglobe.com/">https://discover.digitalglobe.com/</a>

## WorldView-4

Таблица 4-12 – WorldView-4

<b>Mission/Satellite Sensor: WorldView-4</b>					
<b>Operated by</b>	Digital Globe Inc., USA	<b>Spatial Resolution</b>	0,31 m Pan 1,24 m MS	<b>Revisit time</b>	<1 days (1 m GSD)
<b>Inclination</b>	SSO 98°	<b>Swath</b>	13,1 km	<b>Altitude</b>	617 km
<b>Frequency band</b>	Pan: 450-800 nm Multispectral: - Blue: 450-510 nm - Green: 510-580 nm - Red: 655-690 nm - Near IR: 780-920 nm	<b>Data distribution policy</b>	Commercial	<b>Catalogue &amp; Access</b>	<a href="https://discover.digitalglobe.com/">https://discover.digitalglobe.com/</a>

### 4.2.2 Pléiades

Pléiades – это программа CNES (французское национальное космическое агентство), разработанная в качестве продолжения своей успешной серии Spot спутников наблюдения за несколькими спутниками на низкой околоземной орбите (LEO), которая работает непрерывным сервисом с 1986 года. Спутники Pléiades-HR представляют собой компонент оптической визуализации высокого разрешения французско-итальянской системы Orfeo, для которой Италия предоставляет радиолокационный компонент COSMO-SkyMed. Поверхностное разрешение HiRI (High-Resolution Imager) будет составлять 70 см в 20-километровом валке, в то время как очень высокая степень ловкости позволит им приобретать несколько изображений подряд вдоль дороги или вне трассы для мозаики наземных сцен. Объем встроенной памяти увеличен до 600 гигабит, а скорость передачи данных по нисходящей линии связи – до 450 мегабит в секунду. Спутники на 1000 кг будут иметь проектный срок службы 5 лет и мощность на борту 1000 Вт.

Таблица 4-13 – Pleiades

Mission/Satellite Sensor: Pleiades constellation. Satellite number: 2					
<b>Operator</b>	Airbus Defence and Space	<b>Spatial Resolution</b>	Pan: 0,5 m (0,7 m native) MS: 2,0 m (2,8 native)	<b>Revisit time</b>	~ 24 h
<b>Inclination</b>	SSO 98.2°	<b>Swath</b>	20 km	<b>Altitude</b>	695 km
<b>Frequency band</b>	- Pan: 480-820 nm Multispectral: - B0=450-530 (blue) - B1=510-590 (green) - B2=620-700 (red) - B3=775-915 (NIR)	<b>Data distribution policy</b>	Commercial	<b>Catalogue &amp; Access</b>	<a href="http://www.geo-airbusds.com/">http://www.geo-airbusds.com/</a>

#### 4.2.3 Spot 6/7 Constellation

SPOT 6 и 7 (Satellite Probatoire de l'Observation de la Terre) – это два проворных спутника наблюдения Земли, которые продолжают обслуживать спутники SPOT 4 и 5. Оба спутника обеспечивают данные разрешения 2 м в полосе шириной 60 км на 60 км и улучшают гибкость с удвоенным сроком службы предыдущих спутников SPOT. Спутники оснащены двумя приборами NAOMI (New AstroSat Optical Modular Instrument), имитаторами с высокой разрешающей способностью на основе телескопа типа Korsch, разработанным и разработанным на EADS Astrium SAS. Imager обеспечивает изображения 2 м в Pan и четыре мультиспектральных (MS) полос 8 м мультиспектральных. Спутники являются со-орбитальными с спутниками Pleiades с высоким разрешением.

Таблица 4-14 – Spot6/7

Mission/Satellite Sensor: Spot6/7. Satellite number: 2					
<b>Operator</b>	Spot Image	<b>Spatial Resolution</b>	1, 5 Pan, 6, 0 m MS	<b>Revisit time</b>	Spot Image
<b>Inclination</b>	SSO 98.2°	<b>Swath</b>	14 km	<b>Altitude</b>	695 km
<b>Frequency band</b>	- PAN: 0.45-0.75 µm Multispectral - Blue: 0.45-0.52 µm - Green: 0.53-0.60 µm - Red: 0.62-0.69 µm - NIR: 0.76-0.89 µm -	<b>Data distribution policy</b>	Commercial license	<b>Catalogue &amp; Access</b>	<a href="http://www.geo-airbusds.com/">http://www.geo-airbusds.com/</a>

#### 4.2.4 Deimos-2

Deimos-2 – это последующая миссия по визуализации Deimos-1 компании Deimos Imaging S. L. U., компании Elecnor, Испания. Миссия «Deimos-2» нацелена на работу гибкого мини-спутника для приложений наблюдения Земли с высоким разрешением. Проворный космический аппарат может управляться так, чтобы точно указывать оптическую полезную нагрузку типа кнопочного типа, которая может обеспечить 1 м панхроматического и 4 м мультиспектральных изображений в полосе 12 км в надире на высоте орбиты ~ 600 км. Многоспектральная возможность включает 4 канала в видимом и ближнем инфракрасном спектральном диапазоне (красный, зеленый, синий и NIR).

Таблица 4-15 – Deimos-2

<b>Mission/Satellite Sensor: Deimos-2</b>					
<b>Operator</b>	Urthecast	<b>Spatial Resolution</b>	0.75 m PSH 4 m MS	<b>Revisit time</b>	~ 2 days (average)
<b>Inclination</b>	SSO 97.9°	<b>Swath</b>	12 km	<b>Altitude</b>	620 km
<b>Frequency band</b>	- Pan: 450-900 nm - Multispectral: - MS1: 420-510 (blue) - MS2: 510-580 (green) - MS3: 600-720 (red) MS4: 760-890 (NIR)	<b>Data distribution policy</b>	Commercial license.	<b>Catalogue &amp; Access</b>	<a href="http://www.deimos-imaging.com/catalogue">http://www.deimos-imaging.com/catalogue</a>

#### 4.2.5 Созвездие RapidEye

RapidEye – это полная комплексная коммерческая система наблюдения Земли, включающая в себя созвездие из пяти мини-спутников, специализированный центр управления космическими аппаратами (SCC), наземную станцию наземной станции передачи данных и полный наземный сегмент, предназначенный для планирования, приобретения и обработки до 5 миллионов км<sup>2</sup> изображений каждый день для создания уникальных продуктов информации о земле.

Таблица 4-16 – RapidEye

<b>Mission/Satellite Sensor: RapidEye</b>					
<b>Operator</b>	Planet Labs	<b>Spatial Resolution</b>	6,5 m MS (resampled at 5 m) M	<b>Revisit time</b>	~ 3 days
<b>Inclination</b>	SSO 98°	<b>Swath</b>	78 km	<b>Altitude</b>	634 km
<b>Frequency band</b>	Multispectral - Blue: 440-510nm - Green: 520-590nm - Red: 630-685nm - Red edge: 690-730nm - NIR: 760-850nm	<b>Data distribution policy</b>	Commercial license	<b>Catalogue &amp; Access</b>	<a href="http://eyefind.rapideye.com/">http://eyefind.rapideye.com/</a>

#### 4.2.6 Созвездие SENTINEL-2

SENTINEL-2 – это мультиспектральная оперативная визуализация миссии в рамках программы Copernicus, которая совместно реализуется Европейской комиссией (ЕС) и Европейским космическим агентством (ЕКА) для глобального наблюдения за землей (данные о растительности, почвенном и водном покрытии для суши, внутренних водных путей и прибрежных районов а также обеспечить коррекцию данных о поглощении

атмосферы и искажениях) с высоким разрешением с высокой возможностью повторного просмотра, чтобы обеспечить расширенную непрерывность данных, которые до сих пор предоставлялись SPOT-5 и Landsat-7. Спутник SENTINEL-2 несет полезную нагрузку оптического прибора, которая будет отображать 13 спектральных полос: четыре полосы на 10 м, шесть полос на 20 м и три полосы при пространственном разрешении 60 м. Ширина орбитального канала составит 290 км.

*Таблица 4-17 – Sentinel-2*

<b>Mission/Satellite Sensor: Sentinel-2. Satellite number: 2</b>					
<b>Operor</b>	ESA	<b>Spatial Resolution</b>	10 m MS, 30 m MS	<b>Revisit time</b>	~ 5 days
<b>Inclination</b>	SSO 98.5°	<b>Swath</b>	290 km	<b>Altitude</b>	786 km
<b>Frequency band</b>	13 spectral bands (443nm- 2190nm): - 4 visible and NIR - 6 red-edge/SWIR - 3 atmospheric correction bands	<b>Data distribution policy</b>	Open data policy		<a href="https://copernicusdata.esa.int/">https://copernicusdata.esa.int/</a>

## 5 Выводы и рекомендации

Большинство устройств, представленных в этом техническом отчете, имеют высокий TRL, что делает их хорошим выбором для прототипирования и создания конечной системы.

Во всяком случае, для окончательного выбора устройств, конфигурации полезных данных и общих решений важно четкое определение вариантов использования и соответствующих потребностей. Этот анализ ожидается в D1.2 – мониторинг основных ресурсов железных дорог: параметры, технология, технические характеристики. Окончательный выбор будет сообщен и обоснован в D4.1 – Определение случаев применения.

## Родительские документы

Родительские документы устанавливают критерии и техническую основу для существования этого документа.

[PD1] Shift2Rail Joint Undertaking (S2R JU) – Multi-Annual Action Plan (MAAP) – Rev. 3 – 26/11/2015

[PD2] Shift2Rail Joint Undertaking (S2R JU) – Annual Work Plan 2017 – Version 1.1– 23/12/2016

[PD3] MOMIT – Description of Action (DoA) – GA 777630

---

**Окончание документа**

---