



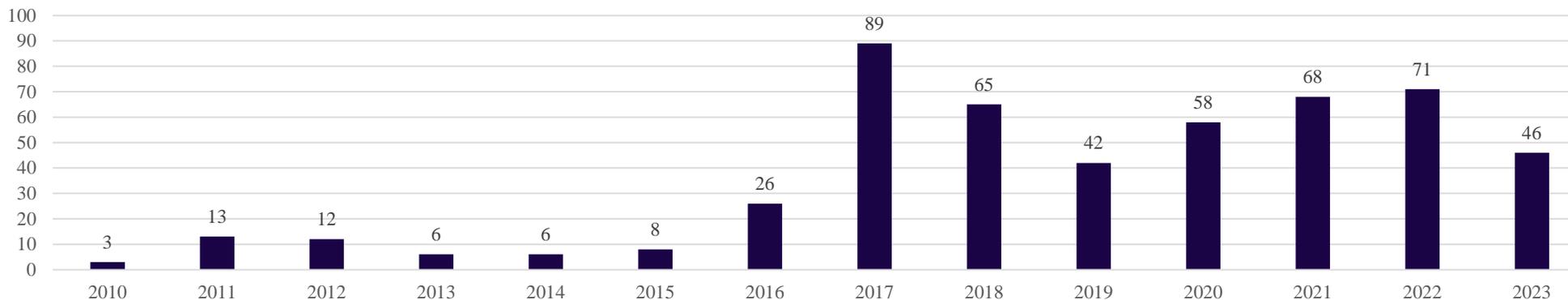
# Подход к созданию перспективной низкоорбитальной многоспутниковой космической системы дистанционного зондирования Земли на основе оптико-электронных малых космических аппаратов

ГЛАВНЫЙ КОНСТРУКТОР ОКР «АВТОГРАФ»  
И.Р. ГУБАЙДУЛЛИН

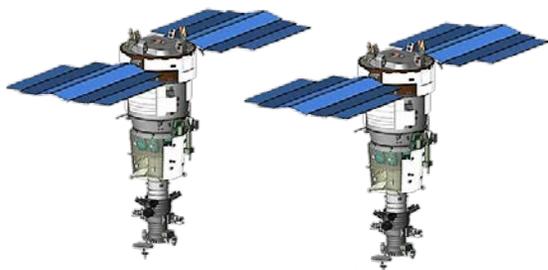


# МИРОВОЕ РАЗВИТИЕ КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ ДЗЗ

Количество АКА ДЗЗ с 2010 по 2023 годы

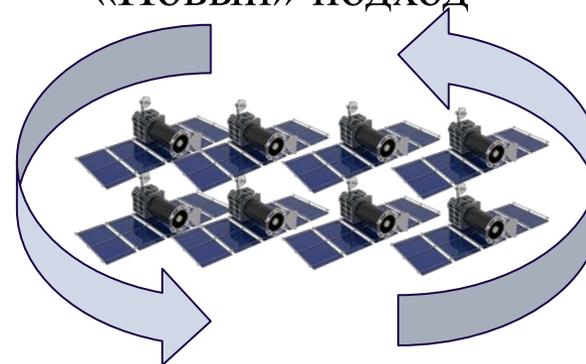


Существующий подход



САС > 10 лет

«Новый» подход



САС ≈ 5 лет

**Общепризнанным трендом создания космических систем ДЗЗ является переход от классической схемы построения крупногабаритных КА к многоспутниковой группировке малых космических аппаратов**

**PKS** Космическая система «Автограф»

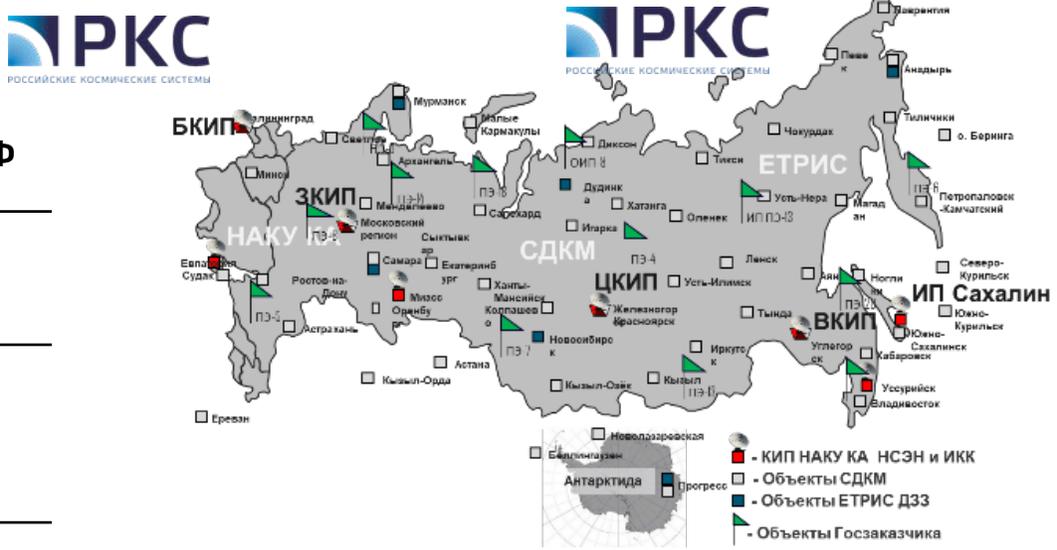
Орбитальная группировка  
 2 МКА «Пиксел-ВР (стадия 1)  
 14 МКА (стадия 2)  
 72 МКА (стадия 3)

Наземный комплекс управления (НКУ)

Наземный комплекс приема и обработки информации (НКПОР)



| Количество КА                              | Частота наблюдения | Полное покрытие РФ               |
|--|--------------------|----------------------------------|
| 2 КА × 1 ОП                                | 3 суток            | 1,5 суток (летний период)        |
| 2 МКА × 1 ОП<br>6 КА × 1 ОП<br>6 КА × 1 ОП | 3 раза/сутки       | <1 суток (весенне-летний период) |
|  |                    | <1 суток                         |



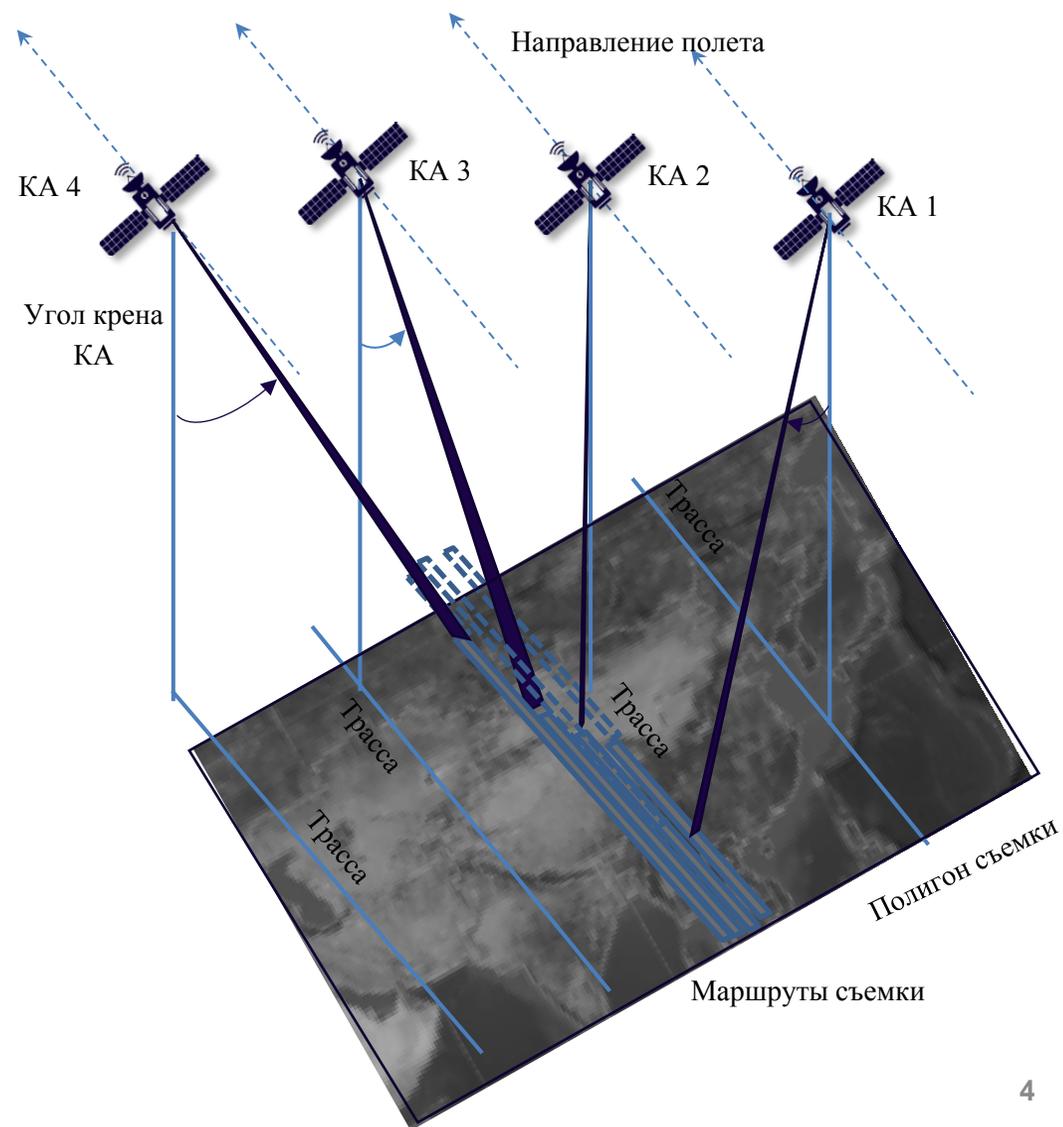
В рамках ТП представлена программа развертывания группировки КА ДЗЗ и обеспечения наземной инфраструктуры

МКА «Пиксел-ВР» должен обеспечивать:

- проведение съёмки заданных районов Земли в поясе с географической широтой **84° с.ш. до 84° ю.ш.** (рабочий диапазон широт) и в диапазоне высот Солнца над местным горизонтом при наблюдении от **10° до 90°** в полосе обзора одного МКА, определяемой углом поворота МКА по крену  **$\pm 35^\circ$** ;

- съёмку заданных районов подстилающей поверхности в панхроматическом и мультиспектральном режимах с коэффициентами отражения подстилающей поверхности от 0,07 до 0,9, в том числе в пределах одного маршрута в видимом и ближнем ИК диапазонах электромагнитного спектра, накопление данных на борту

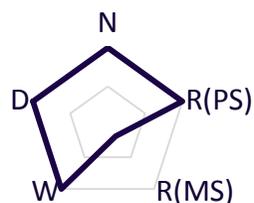
- передачу данных наблюдения на наземные пункты приёма информации.



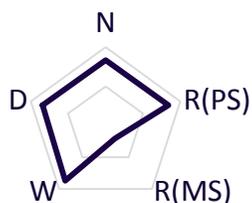
## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ТАБЛИЦА МКА



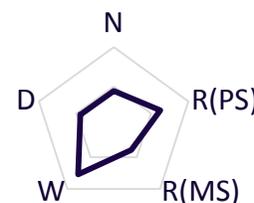
| КА                               |              | JL-1 GX | CAS 500     | Pleiades | Пиксел-ВР    | SuperView 1-4 |
|----------------------------------|--------------|---------|-------------|----------|--------------|---------------|
| Страна                           |              | Китай   | Южная Корея | Франция  | Россия       | Китай         |
| Год запуска                      |              | 2015    | 2021        | 2012     | <b>2026</b>  | 2018          |
| Высота орбиты, км                | <b>H</b>     | 650     | 500         | 694      | 500          | 530           |
| Масса КА, кг                     | <b>M</b>     | 420     | 500         | 940      | до 600       | 560           |
| Количество каналов               | <b>N</b>     | 5       | 5           | 5        | 4            | 5             |
| Проекция пиксела (ПХ), м         | <b>R(PS)</b> | 0,5     | 0,5         | 0,5      | <b>0,53*</b> | 0,5           |
| Проекция пиксела (МС), м         | <b>R(MS)</b> | 2       | 2           | 2        | 0,53         | 2             |
| Полоса захвата, км               | <b>W</b>     | 11,6    | 12          | 20       | 12           | 12            |
| Радиометрическое разрешение, бит | <b>D</b>     | 12      | 12          | 12       | 12           | 12            |



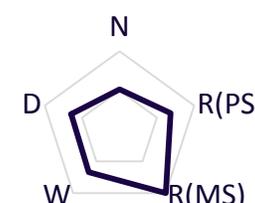
JL-1 GX



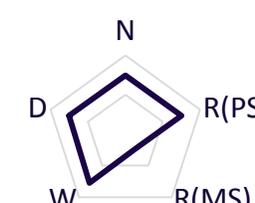
CAS 500



Pleiades



Пиксел-ВР



SuperView 1-4

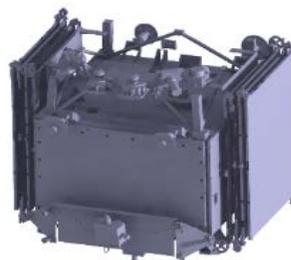


Унифицированный ряд БА



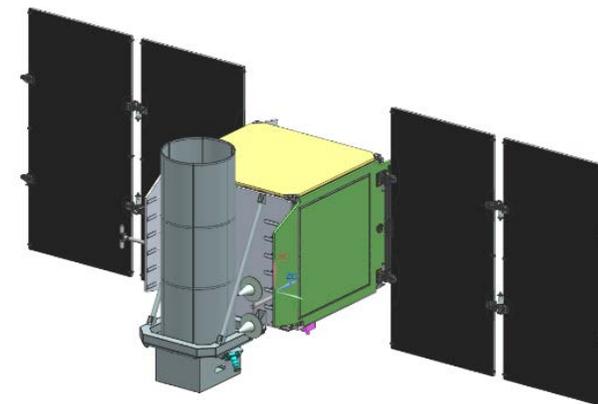
МСУ-ВР-М

Новый комплекс целевой аппаратуры



КП «Карат-200»

Отработанная космическая платформа, имеющая летную квалификацию



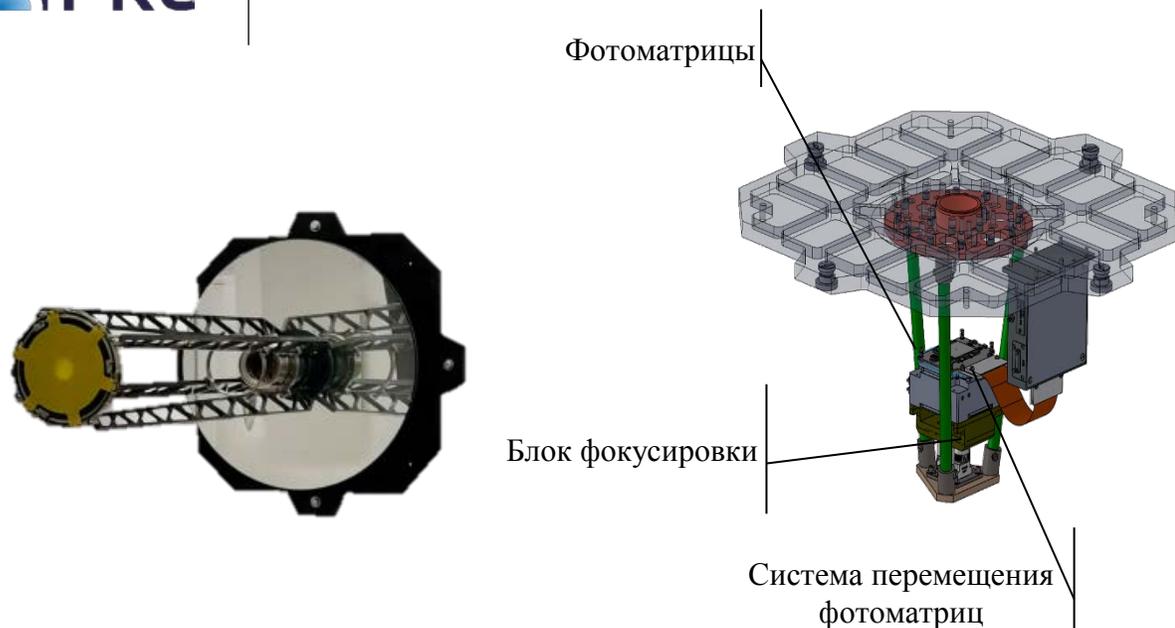
МКА «Пиксел-ВР»

## Основные характеристики

|   |  |
|---|--|
| Масса МКА, кг   | не более 600   |
| Высота рабочей орбиты, км                                 | 500  |
| Срок активного существования, лет                         | 5  |
| Полоса захвата в надир (с Н = 500 км), км                 | 12 x 440   |
| - В маршрутном режиме, не менее                           | 12 x 12  |
| - В объектовом режиме, не менее                           |  |
| Погрешность ориентации осей, °, не более                  | 0,04   |
| Угловая скорость разворотов, °/с, не более                | 1,6  |
| Погрешность определения координат, м, не более            | 10   |
| Разворот МКА на угол до 70° со стабилизацией, с, не более | 105  |
| Погрешность стабилизации углового движения, °/с, не более | ± 0,001  |
| Энергопотребление, Вт, не более                           | КП: средневитковое - 500<br>КЦА: режим съемки - 160, дежурный - 60 |

- модульный принцип построения
- компоновка обеспечивает хорошие условия для маневра КА по крену
- БС жестко закрепляется на корпусе для минимизации момента инерции, миделя КА, снижения динамических возмущений
- корпус КА не герметизируется для минимизации массы и моментов инерции

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЦА МКА «ПИКСЕЛ-ВР»



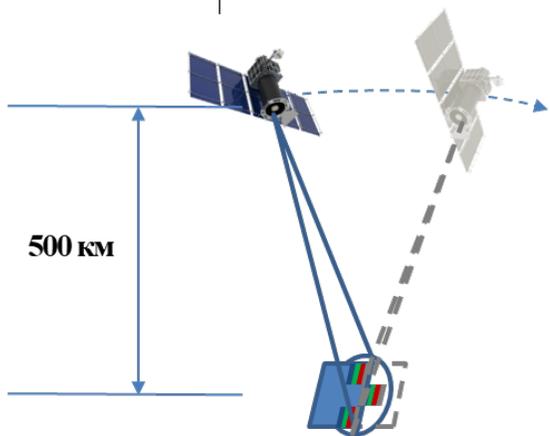
Основные предложенные решения, позволяющие **снизить массу КЦА**, не теряя при этом эксплуатационных качеств заключаются в следующем:

- в качестве фотоприемного устройства используются крупноформатные КМОП-матрицы с большим количеством элементов, не менее 50 миллионов пикселей;
- оптическая схема строится на базе схемы Долла-Киркхема с единственной асферической поверхностью;
- зеркала и корпусные детали объектива изготовлены из одного материала: спеченного карбида кремния;
- для повышения отношения сигнал/шум применяется электромеханическая система увеличения времени накопления (компенсации смаза изображения).

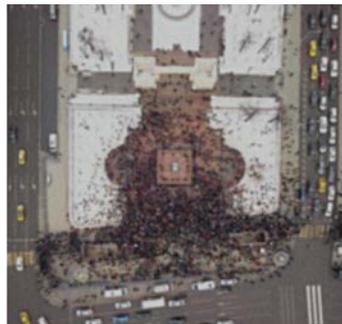
| Наименование параметра                          | Величина параметра<br>(h=500 км)   |
|---|--|
| Проекция пикселя (GSD), м                       | 0,53   |
| Полоса захвата (3 матрицы), км                  | 12   |
| Информативность, Гбит/с                         | 19,9   |
| Габаритные размеры                              | 1866×690×690   |
| Масса, кг                                       | 78   |
| Спектральные диапазоны, мкм                     | МС1: 0,45 – 0,52<br>МС2: 0,52 – 0,60<br>МС3: 0,63 – 0,69<br>МС4: 0,77 – 0,89                     |
| Кадровая частота, Гц<br>(4 спектральных канала) | 10   |
| Разрядность сигнала, бит                        | 10   |
| Оптическая схема                                | Главное зеркало — эллипс,<br>вторичное зеркало — сфера,<br>3 линзы со сферическими поверхностями |

# РЕЖИМЫ СЪЕМКИ КА

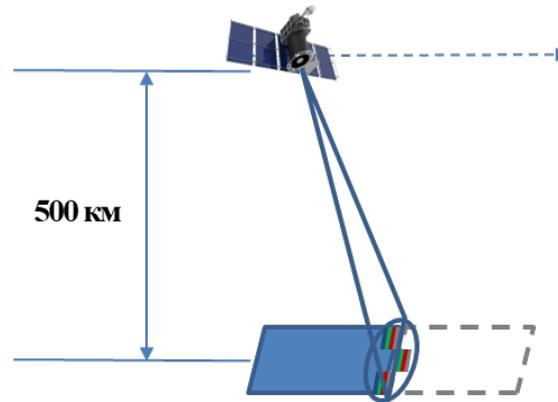
Объектный режим (12×12 км)



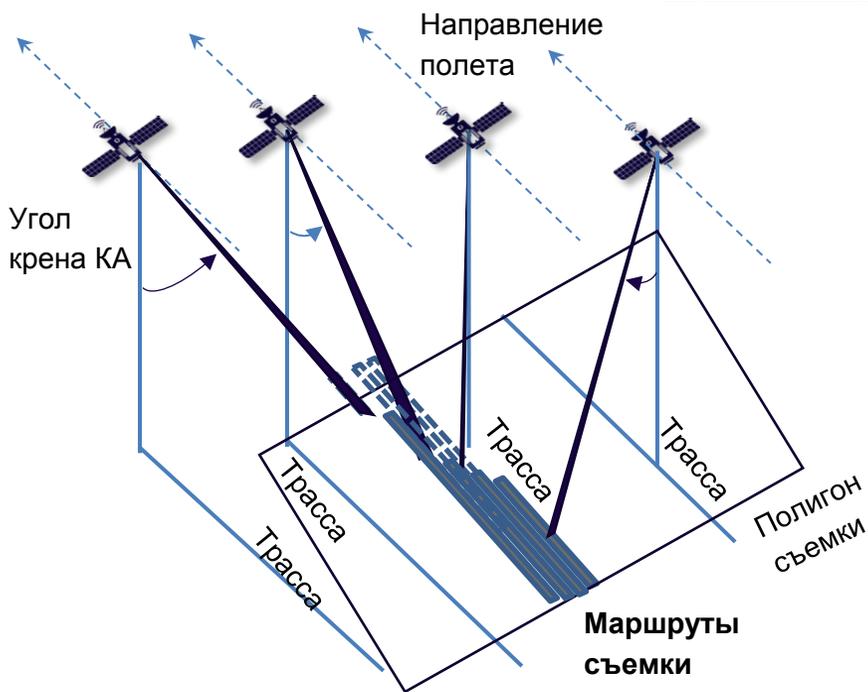
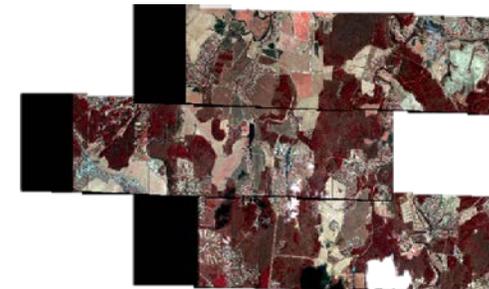
- ✓ Тангажное замедление
- ✗ Перемещение матриц



Маршрутный режим (440×12 км)

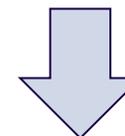


- ✗ Тангажное замедление
- ✓ Перемещение матриц



## Сценарии применения ОГ МКА для съёмки площадных объектов за один и несколько проходов

1. Съёмка одним КА за период кратности орбиты
2. Съёмка группой КА в одной орбитальной плоскости
3. Последовательная съёмка группой КА в смежных орбитальных плоскостях



- Уменьшение времени покрытия площадного объекта достигается за счёт использования разворота КА по крену;
- Рациональное покрытие 3-4 полосами «в один проход» осуществляется ОГ из 72 КА из смежных плоскостей с углами крена от ± 2,5 - 15 град

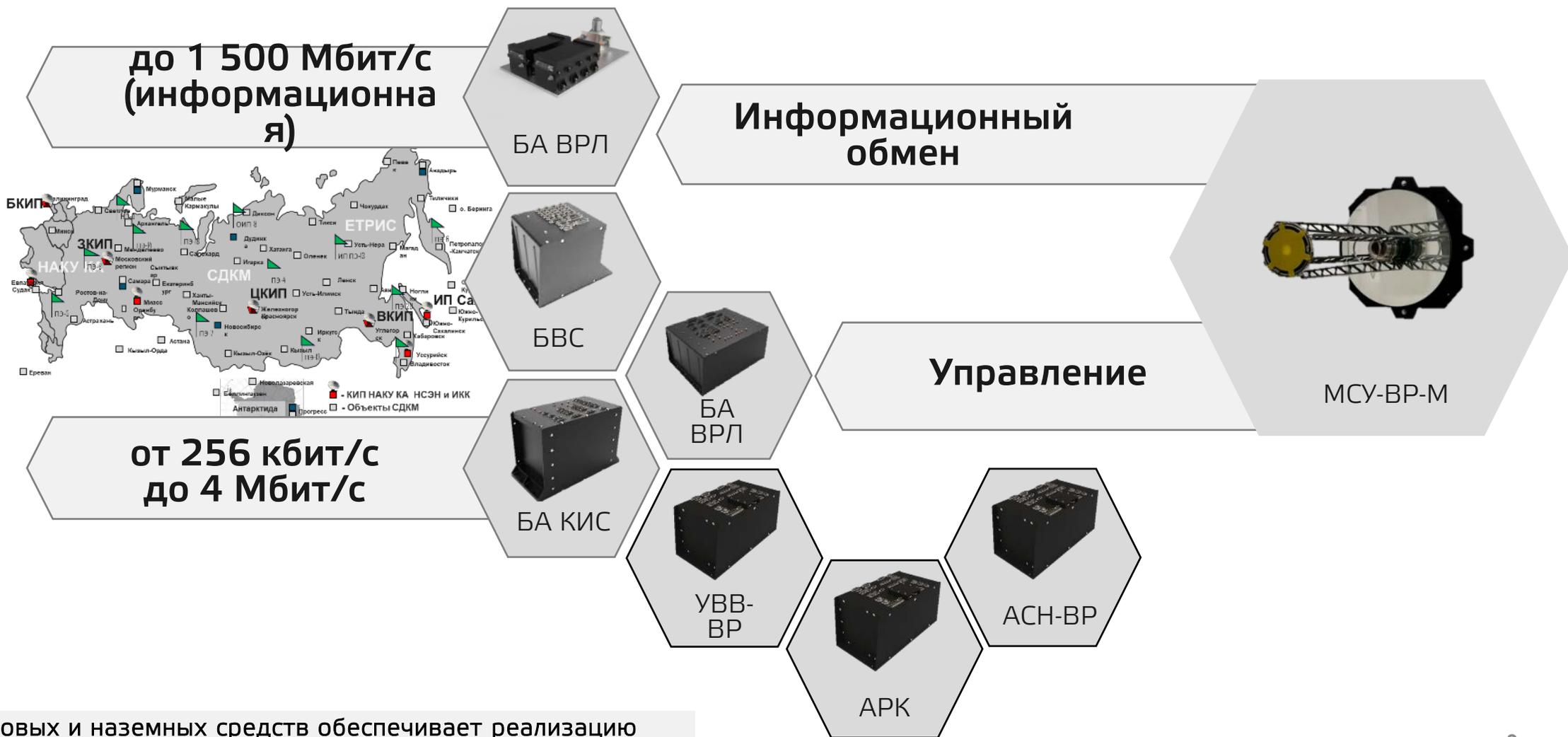
Инфраструктура  
ГК «Роскосмос»



ЕТРИСС ДЗЗ  
НКПОР



НС КИС



Комплекс бортовых и наземных средств обеспечивает реализацию управления КА и прием ЦА на существующей наземной инфраструктуре



## Параметры передачи

|  |  |
|--|--|
| Диапазон                                   | X-диапазон                               |
| Полоса, ГГц                                | 8,025...8,400                            |
| Виды модуляции                             | BPSK, QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK, 64APSK |
| Скорость передачи данных, Мбит/с, не менее | 1500 (1 канал),                          |
| Символьная скорость, Мбод                  | до 300                                   |



## Параметры приёма

| Диаметр антенны, м | Коэффициент усиления, дБ | Частота приёма, ГГц |
|--------------------|--------------------------|---------------------|
| 4,0                | 48,5                     | 7,4–8,4             |
| 5,0                | 50                       | 8,0–8,4             |
| 7,0                | 53                       | 8,025–8,4           |
| 9,0                | 54,8                     | 8,025–8,4           |

### Планы дооснащения

|      | КА | ТБ/сут.       | ПК |
|------|----|---------------|----|
| 2025 | 2  | не менее 2,8  | 7  |
| 2030 | 14 | не менее 19,0 | 21 |
| 2035 | 72 | не менее 98,0 | 40 |

*Резервирование 30-40%*

### Каналы связи

|      |                 |
|------|-----------------|
| 2025 | до 0,7 Гбит/сек |
| 2030 | до 1 Гбит/сек   |
| 2035 | до 2,8 Гбит/сек |

### Центр обработки данных г. Москва

|      |  |
|------|--|
| 2025 | Привлечение средств ЕТРИС ДЗЗ с минимальными доработками |
| 2030 | до 13% от загрузки ЦОД                                   |
| 2035 | до 58% от загрузки ЦОД                                   |

*Целесообразна проработка резервирования мощностей ЦОД для подобных проектов*

КС «Автограф» должна иметь следующие характеристики:

- оперативность доставки целевой информации от начала съемки одиночного маршрута до окончания записи файлов, содержащих целевую информацию, на носители технических средств НКПОР **не должна превышать 2-х часов;**
- время выполнения заявки потребителя (с момента заказа до получения потребителем) на предоставление информации наблюдения одного маршрута при организации новой съемки в пределах полосы обзора, для всех стадий реализации КС должно составлять **не более 20 часов;**
- среднеквадратическая ошибка ( $\sigma$ ) координатной привязки с использованием опорных ориентиров при съемке в надир - **не более 5 м**, на краю полосы обзора - **не более 10 м;**
- линейное разрешение на местности (ЛРМ) материалов съемки во всех (ПХ и МС) каналах в зачетных условиях наблюдения:
  - при съемке в надир: **не более 0,9 м;**
  - на краю полосы обзора: **не более 1,6 м.**



## Характеристики съемочной аппаратуры МКА «Пиксел-ВР»

| Характеристика, параметр                               | Значение        |
|--|-----------------|
| Суточная производительность одного КА, км <sup>2</sup> | не менее 47 000 |
| Суточный поток информации 1 КА, Тбайт                  | не менее 1,36   |
| Проекция пикселя, м                                    | 0,53            |
| Полоса захвата, км                                     | 12              |
| Количество спектральных каналов                        | 4               |



## Основные технические характеристики БА ВРЛ

| Наименование характеристики   | Значение характеристики |
|---|-------------------------|
| Диапазон рабочих частот передатчика                                   | от 8025 до 8400 МГц     |
| Скорость передачи ЦИ при вероятности ошибки на бит 10 <sup>-7</sup>   | от 512 до 1500 Мбит/с   |
| Объем ЗУ ЦИ   | не менее 2 Тб           |
| Излучаемая мощность ПРД-Х   | не менее 10 Вт          |
| Электропотребление:   |                         |
| дежурный режим (ДР)   | не более 29 Вт          |
| сеансный режим (СР)   | не более 170 Вт         |
| Суммарная масса БА ВРЛ без учета волноводного тракта и кабельной сети | не более 42,3 кг        |

# ВЫДЕЛЕНИЕ ЕДИНОГО КОНТУРА УПРАВЛЕНИЯ И ПЛАНИРОВАНИЯ ЦЕЛЕВЫМ ПРИМЕНЕНИЕМ КС «АВТОГРАФ»



- КА на ГСО и ВЭО типа Луч (2-3 стадии развертывания)
- ✓ Ретрансляция сеансов Управления КА
  - ✓ Передача целевой информации с удалённых ППИ

## Общий подход к применению:

- Снижение загрузки НС КИС за счёт внедрения спутниковых каналов связи, сброса ТМИ в целевом радиоканале;
- Переход от 4 дискретных сеансов закладки РП в сутки к оперативному управлению с закладкой РП (КРП) с интервалом 10-90 минут;
- Реализация сервиса заказа оперативной съёмки за 0,5-1,5 часа до прохождения КА

Размещение станций управления

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Балтийский КИП                | 1 |
| Западный КИП                  | 2 |
| Центральный КИП               | 2 |
| Восточный КИП                 | 3 |
| Байконур                      | 2 |
| КИП Сахалин (после 2025 года) | 2 |



Спасибо за внимание!



# ПОСТРОЕНИЕ НКПОР КС «АВТОГРАФ» С ЗАДЕЙСТВОВАНИЕМ ЕТРИС ДЗЗ

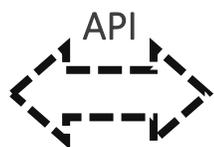
Вновь создаваемые СПО и компоненты



*СПО разрабатывается в рамках ОКР по созданию КС*

## Основные эффекты сервисов ЕТРИС ДЗЗ:

- Не требуется создание собственной наземной инфраструктуры, как следствие – снижение CAPEX и OPEX
- Интеграция информационного ресурса в единое геопространство Госкорпорации «Роскосмос» (ФФД ДЗЗ)



Функционально привлекаемые средства и технологические сервисы ЕТРИС ДЗЗ



*Технологические сервисы плат формы ЕТРИС ДЗЗ и ИС «Цифровая Земля» предоставляют ся по API в рамках Соглашения об уровне оказания услуг (Service Layer Agreement – SLA).*

*Для новых КС ДЗЗ требуется масштабирование инфраструктуры и настройка общего программного обеспечения*

# ТЕКУЩИЕ ОТРАСЛЕВЫЕ ПОТРЕБНОСТИ В ДАННЫХ ДЗЗ

## Основные задачи (пользователи) – Базовые сценарии съемки

### Гидрометеорология



**Росгидромет**

### Природно-ресурсный мониторинг – Картографирование



**МЧС России**



**Рослесхоз**



**Минсельхоз**



**Росреестр**



**Росатом**



**Роснедра**

|                      | Росгидромет                                  | МЧС России                           | Рослесхоз                | Минсельхоз                       | Росреестр                            | Росатом                      | Роснедра                     |
|----------------------|--|--------------------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Объект интереса      | глобальное наблюдение                        | локальные чрезвычайные ситуации      | вырубки, состояние лесов | земли с/х назначения             | границы кадастровых участков         | Северный морской путь        | геологоразведка              |
| Вид данных           | оптические, радиолокационные, СВЧ, лидарные  | оптические, радиолокационные         | оптические               | оптические, радиолокационные     | оптические                           | оптические, радиолокационные | оптические, радиолокационные |
| Разрешение данных    | низкое, среднее, высокое                     | среднее, сверхвысокое, экстравысокое | среднее, высокое         | среднее, высокое                 | высокое, сверхвысокое, экстравысокое | среднее, высокое             | сверхвысокое, экстравысокое  |
| Периодичность съемки | от 1 раз в 15 мин (ГСО/ВЭО) до 2 раза в сут. | от 2 раза в сут. до 1 раз в 3 часа   | 2 раз в сут.             | от 1 раз в 5 дн. до 1 раз в мес. | 1 раз в квартал                      | ежедневно                    | 1 раз в год                  |
| Площадь территории   | глобально                                    | 10 млн. кв. км                       | 7,5 млн. кв. км          | 4 млн. кв. км                    | 4 млн. кв. км                        | 7 млн. кв. км                | 6 млн. кв. км                |



**Высокое разрешение**  
(1 – 10 м,  
оптика / радиолокация)  
территория РФ, ежедневно

**Сверхвысокое разрешение**  
(0,5 – 1 м,  
оптика / радиолокация)  
10 млн кв. км, ежедневно  
в районах хоз. деятельности

**Общая потребность в данных**  
**Экстравысокое разрешение**  
(лучше 0,5 м,  
оптика / радиолокация)  
**5 млн. кв. км, ежедневно**  
в районах хоз. деятельности

**Инфракрасная съемка**  
**территория РФ, ежедневно**

**Гиперспектральная съемка**  
**200 тыс. кв. км, ежедневно**  
в районах хоз. деятельности

## Стадия 1

- 2 МКА x 1 ОП

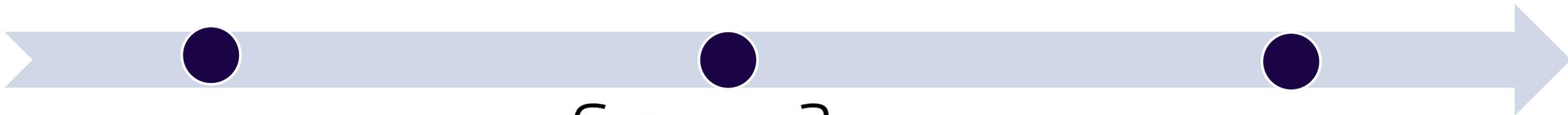
## Стадия 2

- 2 МКА x 1 ОП
- 6 КА x 1 ОП
- 6 КА x 1 ОП

## Стадия 3

- 6 КА x 12 ОП

| Характеристика                     | Значение    |                              |                        |
|------------------------------------|-------------|------------------------------|------------------------|
|                                    | 1           | 2                            | 3                      |
| Стадия                             |             |                              |                        |
| Большая полуось, км                |             | 6878,18                      |                        |
| <b>Средняя высота орбиты, км</b>   | <b>500</b>  |                              |                        |
| Эксцентриситет                     |             | 0,001347                     |                        |
| Наклонение, °                      |             | 97,39                        |                        |
| Аргумент перигея, °                |             | 69,09                        |                        |
| Период замыкания трассы, сут       |             | 13                           |                        |
| Число витков в полетных сутках, шт |             | 15                           |                        |
| Число витков замыкания, шт         |             | 198                          |                        |
| Драконический период обращения, с  |             | 5672,72                      |                        |
| Межвитковое смещение трассы, °/км  |             | 23,70/2638,39                |                        |
| Суточное смещение трассы, °/км     |             | 4,48/499,12                  |                        |
| Периодичность наблюдения, сут      | 3           | 1                            | <1                     |
| МСУ ВУ, чч:мм:сс                   | 13:07:30    | 13:07:30, 13:22:30, 13:37:30 | диапазон 10:00 – 15:00 |
| Производительность, млн. кв. км    | не менее 94 | не менее 658                 | не менее 3384          |



## Стадия 1

- 2 МКА

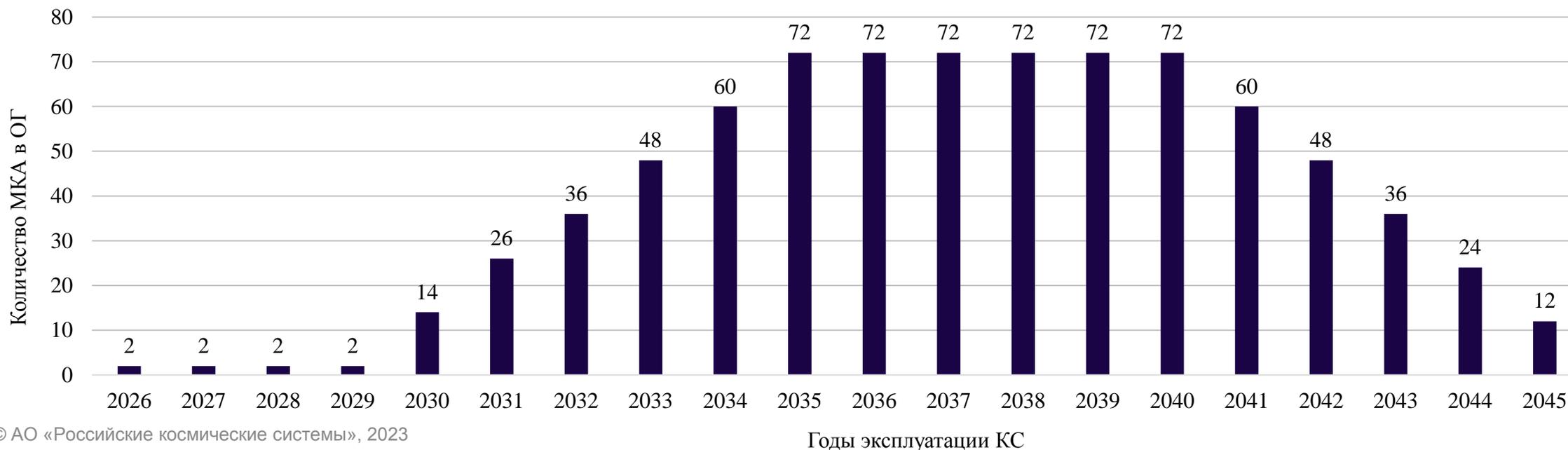
## Стадия 2

- от 4 до 14 МКА (подготовка серии)

## Стадия 3

- Тиражируемый МКА (12 МКА в год)

Количество МКА в КС по годам



## 1 этап

### НКУ для КС первой стадии развёртывания базируется на НС КИС типа «Клен»

Обеспечивается передача на БА информации с фиксированной частотой из диапазона от 2026,29375 МГц до 2108,24792 МГц (шаг 221/480 МГц) с видами модуляции:

- UQPSK,
- QPSK (опция),
- PSK( $\pm 45^\circ$ ).

Структура принимаемого кадра определяется протоколами CCSDS231.0-B-2, CCSDS 415.1-B-1

#### Виды информации, передаваемой по запросу каналу:

- разовые функциональные команды (ФК);
- служебные команды (СК);
- массивы командно-программной информации (КПИ)

#### Скорость передачи информации

- при ориентированном положении КА по командному каналу (I) – 1; 8 кбит/с,
- при неориентированном положении КА – 1 кбит/с

В ответном канале обеспечивается приём информации от БА с фиксированной частотой из диапазона от 2200,5 МГц до 2289,5 МГц (шаг 0,5 МГц), с видами модуляции:

- USQPSK (с I:Q равным 1:4),
- QPSK (опция).

Структура формируемого кадра в соответствии с протоколами CCSDS131.0-B-2, CCSDS 415.1-B-1

#### Виды информации, принимаемой по ответному каналу:

- диагностическая информация (ДИ) ТКС-КВО;
- квитанции ФК в составе ДИ;
- квитанции СК в составе ДИ;
- квитанции КПИ в составе ДИ;
- информация оперативного контроля в ДИ;
- телеметрическая информация КА (ТМИ);
- секундная метка, коды оцифровки секундной метки

#### Скорость приёма информации

- при ориентированном положении КА по каналу контроля (I) (ДИ) – 8; 32 кбит/с, по каналу (Q) (ТМИ) – 32; 64; 128; 256 кбит/с.
- при неориентированном положении КА по каналу контроля (I) – 8 кбит/с, по каналу (Q) – 32; 64 кбит/с

## 2 этап

### НКУ для КС второй и третьей стадии развёртывания базируется на НС типа УНС КИС-Б

(обеспечивает управление низкоорбитальными КА, геостационарными КА и КА на высокоэллиптических орбитах в С-, Х-, S-диапазонах частот, а также приём целевой информации с научных КА)

*Под управлением понимается выдача командно-программной информации, приём телеметрической информации, сверка, фазирование и коррекция БШВ, измерение текущих навигационных параметров, приём квитанций*

#### Частотный диапазон, ГГц

##### По каналу приёма

C: 3,400 – 3,450  
S: 2,200 – 2,290  
X: 8,025 – 8,500

##### По каналу передачи

C: 5,725 – 5,775  
S: 2,025 – 2,110  
X: 7,130 – 7,250

- Режим работы: приём / передача
- Диаметр антенной системы, м, не менее: 9±5%
- Наличие системы автосопровождения: имеется
- Возможность удалённого управления: имеется
- Возможность локального (ручного) управления: имеется
- Количество входных каналов на диапазон: 2
- Тип поляризации: круговая (левая, правая)
- Тип опорно-поворотного устройства: трёхосевое

## 3 этап

### НКУ третьей стадии создания КС является основой ЕНСУ,

где основным элементом является интегрированное программное обеспечение ЦУП и НКПОР

С учётом моделирования баллистического построения ОГ КА «Пиксел-ВР» и при расположении НС на ИП «Сахалин», БКИП, ЗКИП, ЦКИП и ВКИП для обеспечения сеансов связи в сутки необходимо УНС КИС-Б:

- для одного сеанса – не менее 5,
- для двух сеансов – не менее 10,
- для трёх сеансов – не менее 16,
- для четырёх сеансов – до 20

Для расширения суммарных ЗРВ наземных средств предлагается создание новых площадок преимущественно в высоких северных и южных широтах: на Шпицбергене, в Антарктиде, на территории РФ – в Мурманске, Дудинке, Анадыре и других северных пунктах, обладающих инфраструктурой для создания пунктов управления КА

Размещение станций типа УНС КИС-Б в высоких широтах даст наибольшее количество рабочих витков для КА на низких солнечно-синхронных приполярных орбитах. С учётом НС КИС в Антарктиде возможны два сеанса управления КА на одном витке с интервалом в 40 мин