



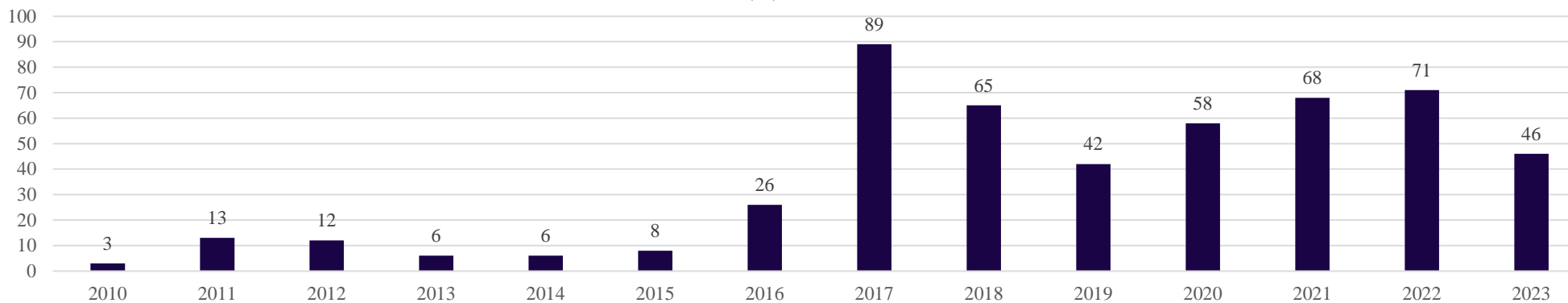
# Подход к созданию перспективной низкоорбитальной многоспутниковой космической системы дистанционного зондирования Земли на основе оптико-электронных малых космических аппаратов

ГЛАВНЫЙ КОНСТРУКТОР ОКР «АВТОГРАФ»  
И.Р. ГУБАЙДУЛЛИН

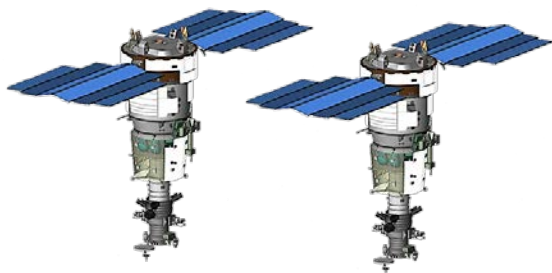


# МИРОВОЕ РАЗВИТИЕ КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ ДЗЗ

Количество АКА ДЗЗ с 2010 по 2023 годы

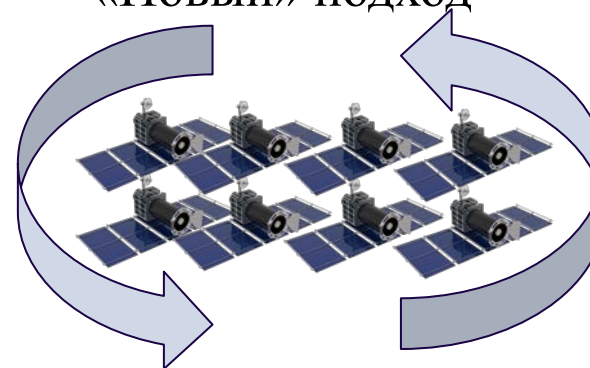


Существующий подход



САС > 10 лет

«Новый» подход



САС ≈ 5 лет

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

**PKS** Космическая система «Автограф»

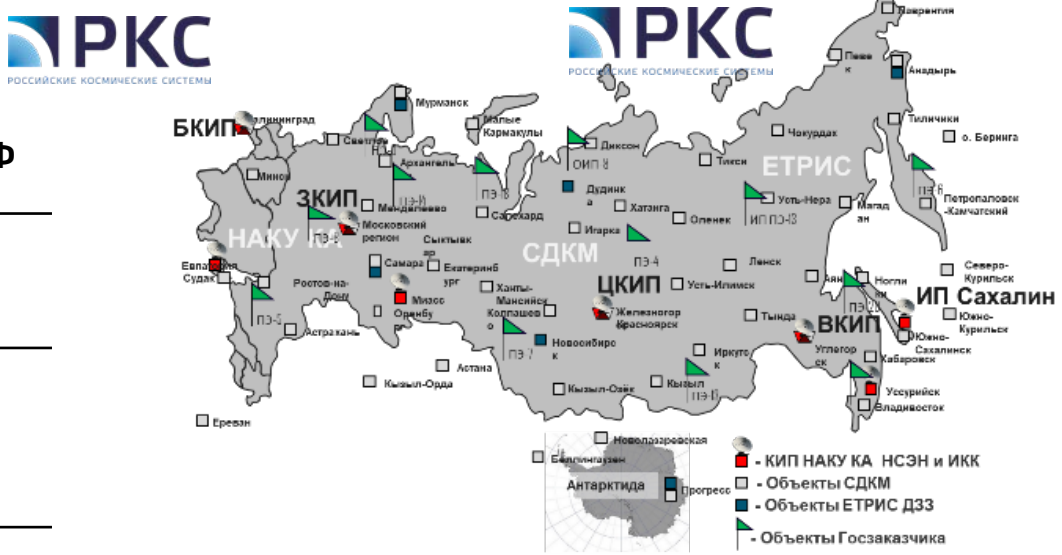
Орбитальная группировка  
 2 МКА «Пиксел-ВР (стадия 1)  
 14 МКА (стадия 2)  
 72 МКА (стадия 3)

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 6 КА × 1 ОП 6 КА × 1 ОП	3 раза/сутки	<1 суток (весенне-летний период)
		<1 суток



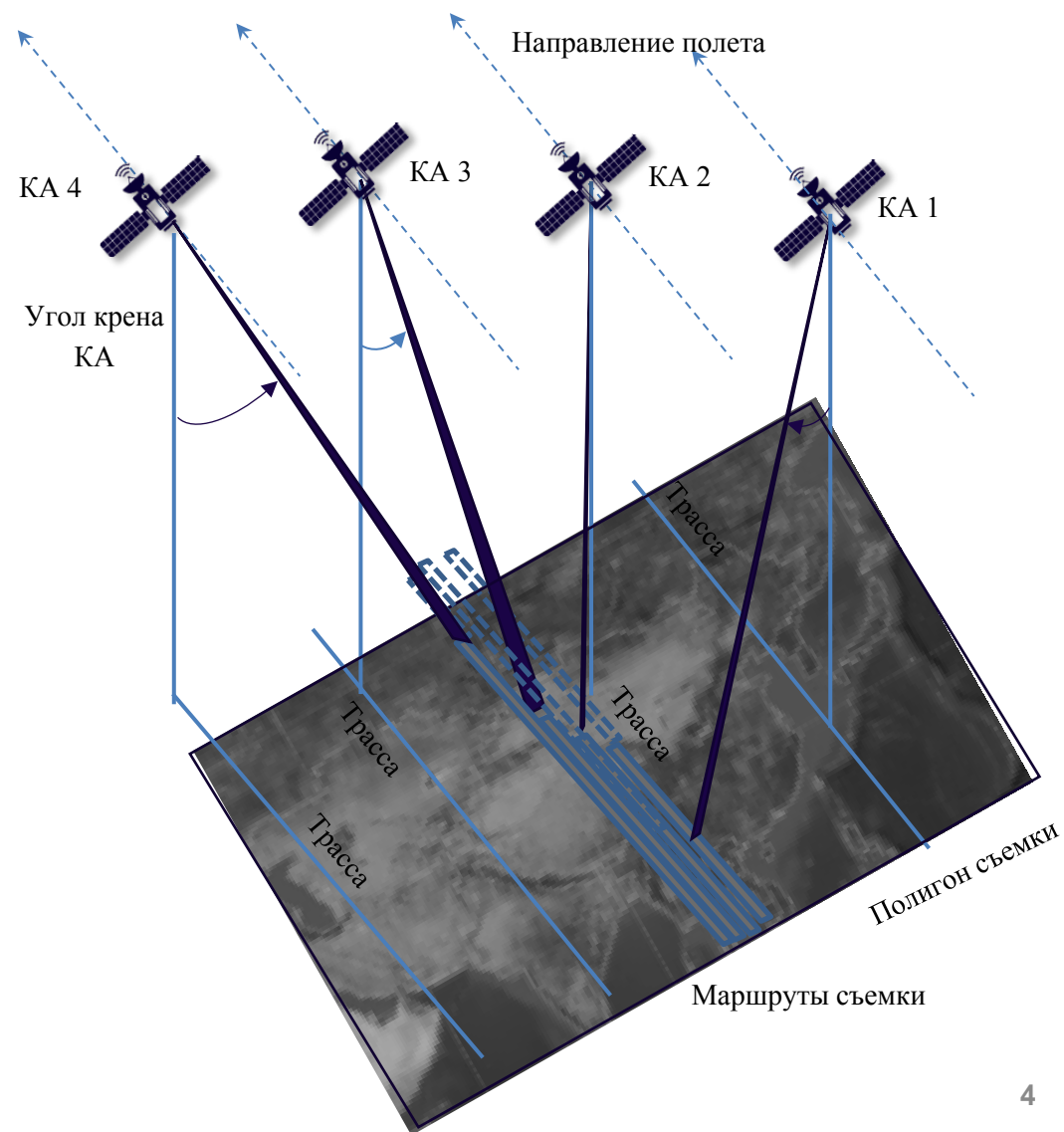
В рамках ТП представлена программа развертывания группировки КА ДЗЗ и обеспечения наземной инфраструктуры

МКА «Пиксел-ВР» должен обеспечивать:

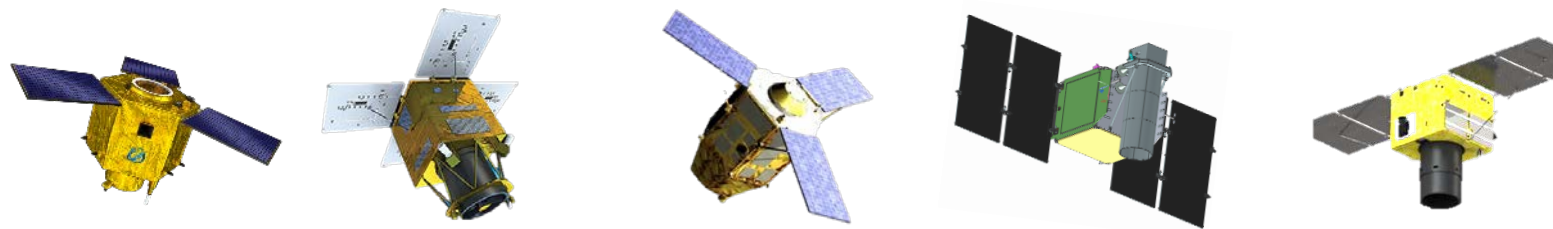
- проведение съёмки заданных районов Земли в поясе с географической широтой  $84^{\circ}$  с.ш. до  $84^{\circ}$  ю.ш. (рабочий диапазон широт) и в диапазоне высот Солнца над местным горизонтом при наблюдении от  $10^{\circ}$  до  $90^{\circ}$  в полосе обзора одного МКА, определяемой углом поворота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

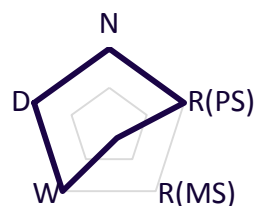
- передачу данных наблюдения на наземные пункты приёма информации.



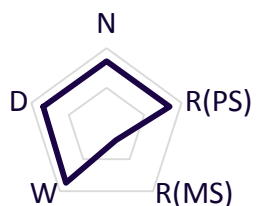
## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ТАБЛИЦА МКА



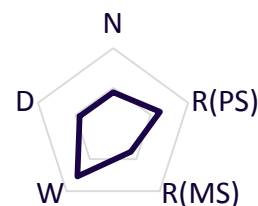
КА		JL-1 GX	CAS 500	Pleiades	Пиксел-ВР	SuperView 1-4
Страна		Китай	Южная Корея	Франция	Россия	Китай
Год запуска		2015	2021	2012	<b>2026</b>	2018
Высота орбиты, км	<b>H</b>	650	500	694	500	530
Масса КА, кг	<b>M</b>	420	500	940	до 600	560
Количество каналов	<b>N</b>	5	5	5	4	5
Проекция пиксела (ПХ), м	<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



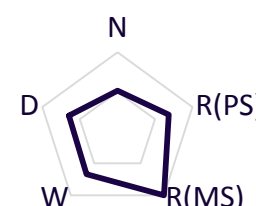
JL-1 GX



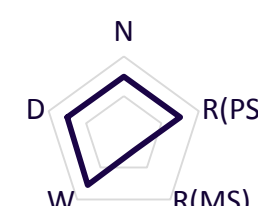
CAS 500



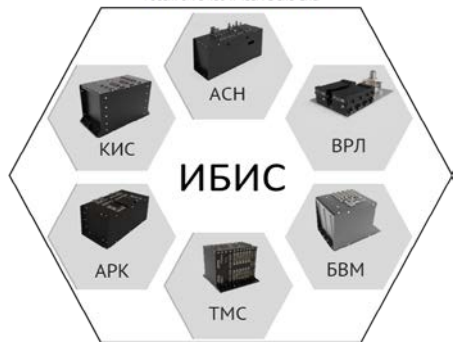
Pleiades



Пиксел-ВР



SuperView 1-4

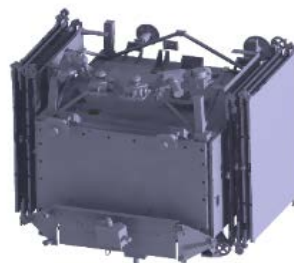


Унифицированный ряд БА



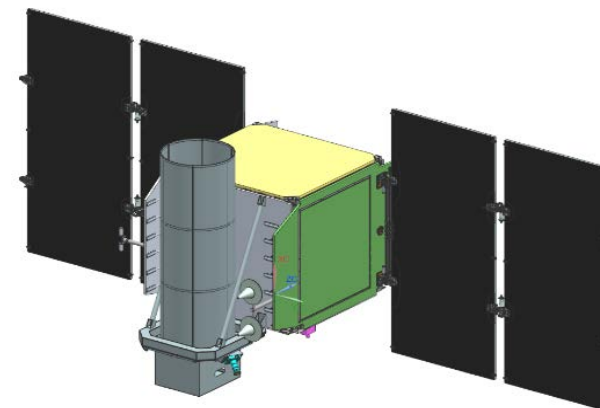
МСУ-ВР-М

Новый комплекс целевой аппаратуры



КП «Карат-200»

Отработанная космическая платформа, имеющая летную квалификацию



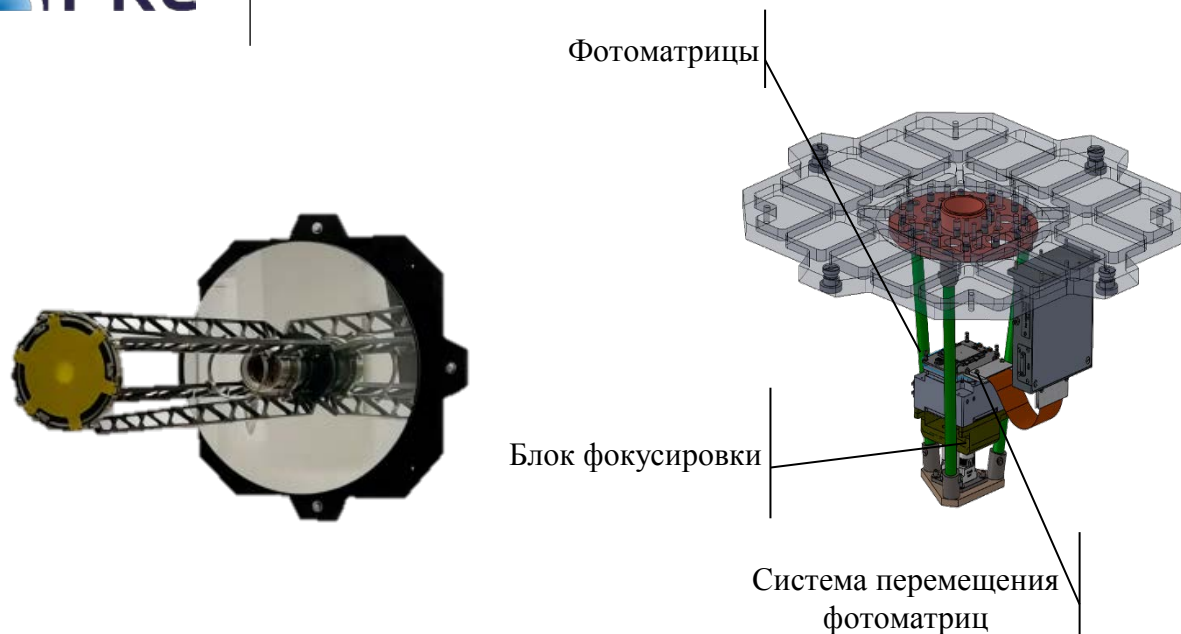
МКА «Пиксел-ВР»

## 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 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»



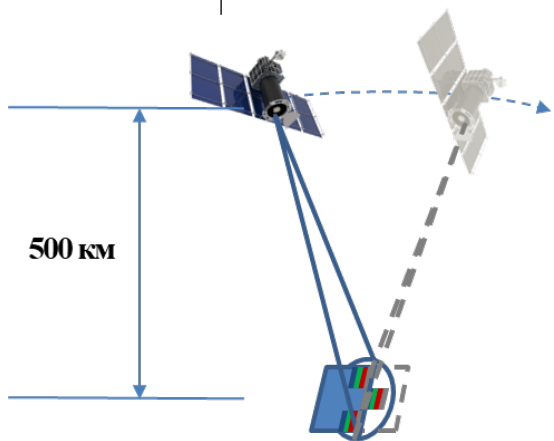
Основные предложенные решения, позволяющие **снизить массу КЦА**, не теряя при этом эксплуатационных качеств заключаются в следующем:

- 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).

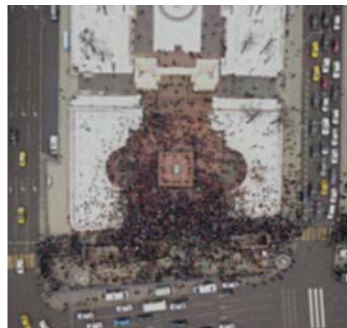
Наименование параметра	Величина параметра (h=500 км)
Проекция пикселя (GSD), м	0,53
Полоса захвата (3 матрицы), км	12
Информативность, Гбит/с	19,9
Габаритные размеры	1866×690×690
Масса, кг	78
Спектральные диапазоны, мкм	МС1: 0,45 – 0,52 МС2: 0,52 – 0,60 МС3: 0,63 – 0,69 МС4: 0,77 – 0,89
Кадровая частота,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

# РЕЖИМЫ СЪЕМКИ КА

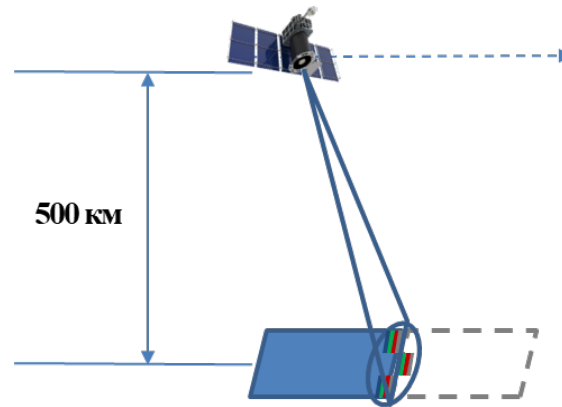
**Объектный режим (12×12 км)**



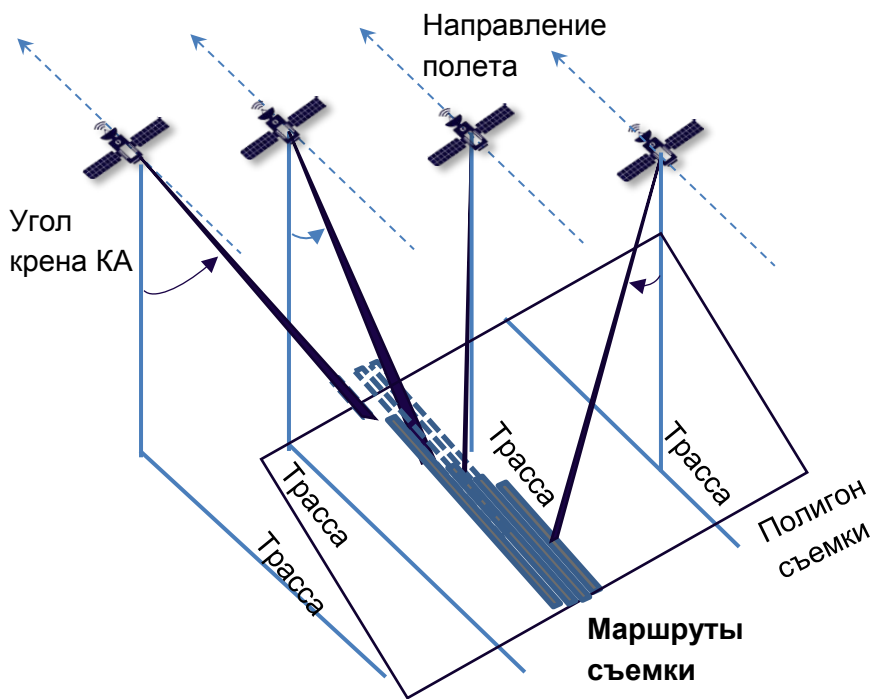
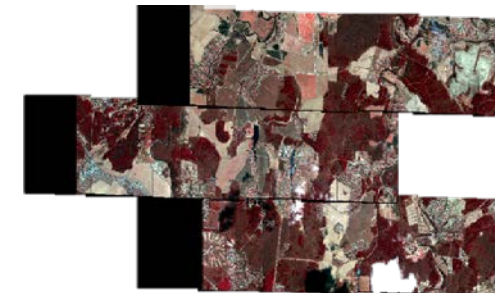
- ✓ Тангажное замедление
- ✗ Перемещение матриц



**Маршрутный режим (440×12 км)**

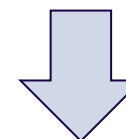


- ✗ Тангажное замедление
- ✓ Перемещение матриц



## 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 $10^{-7}$	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

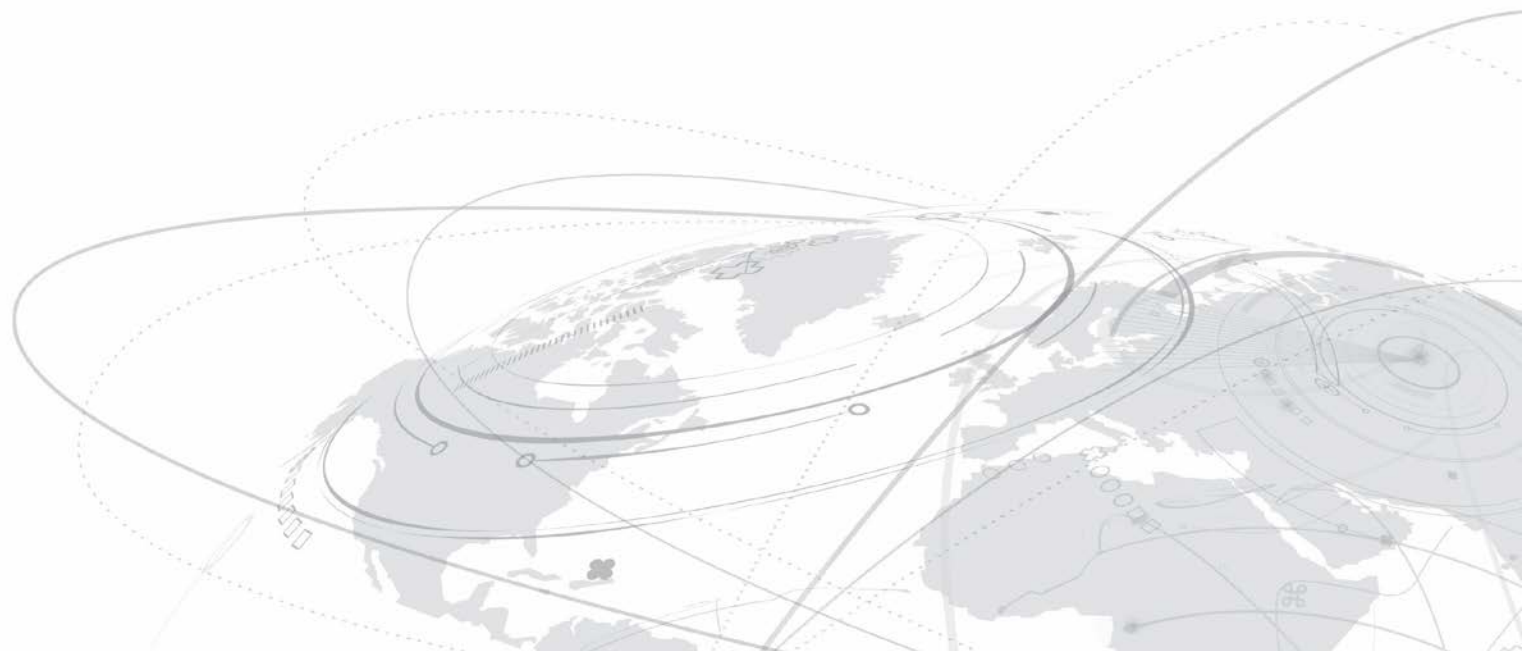
## Общий подход к применению:

- 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

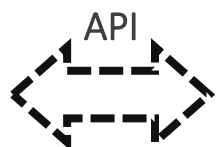
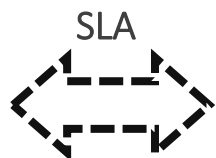
Вновь создаваемые СПО и компоненты



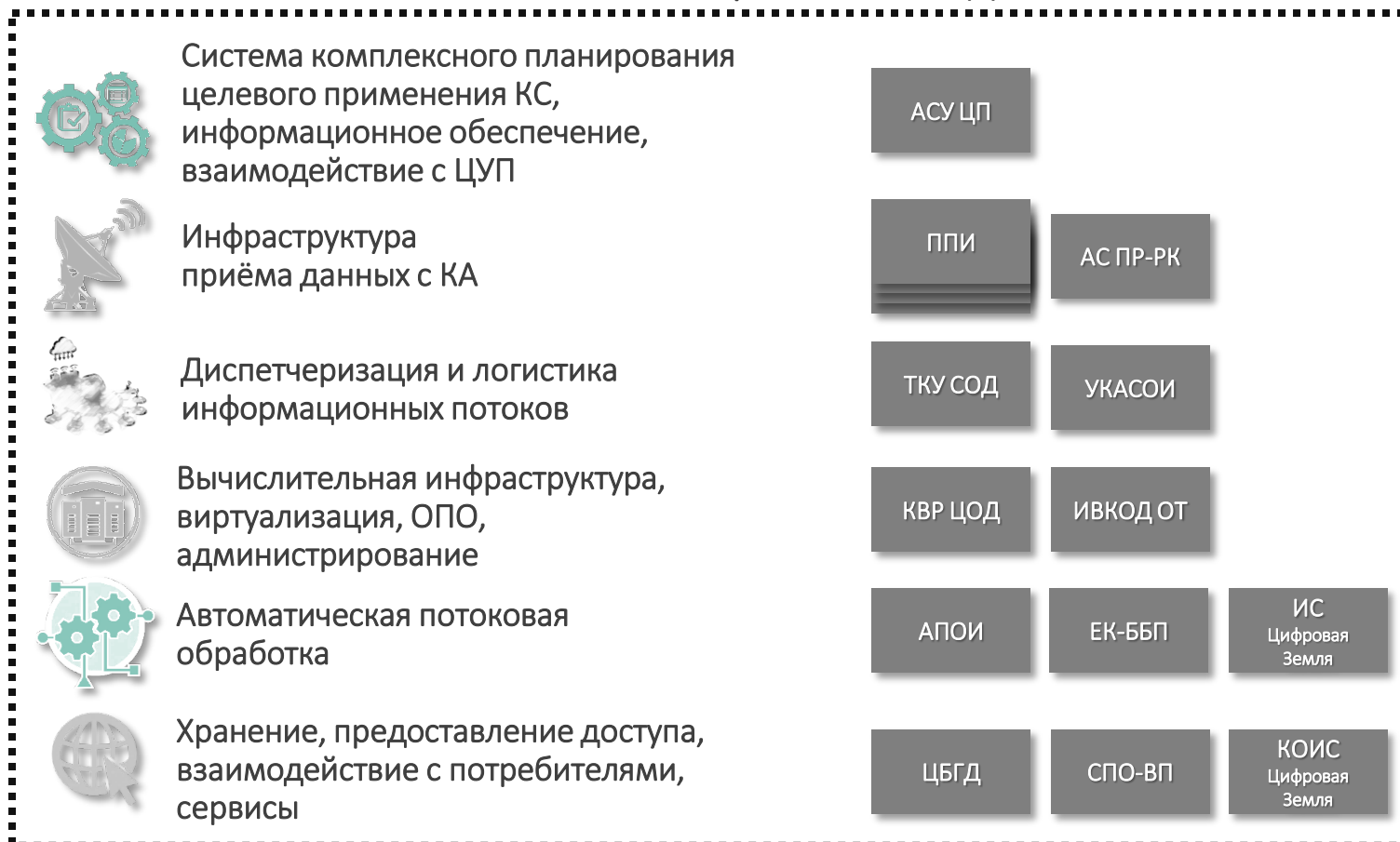
*СПО разрабатывается в рамках ОКР по созданию КС*

## 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



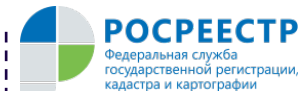
**МЧС России**



**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

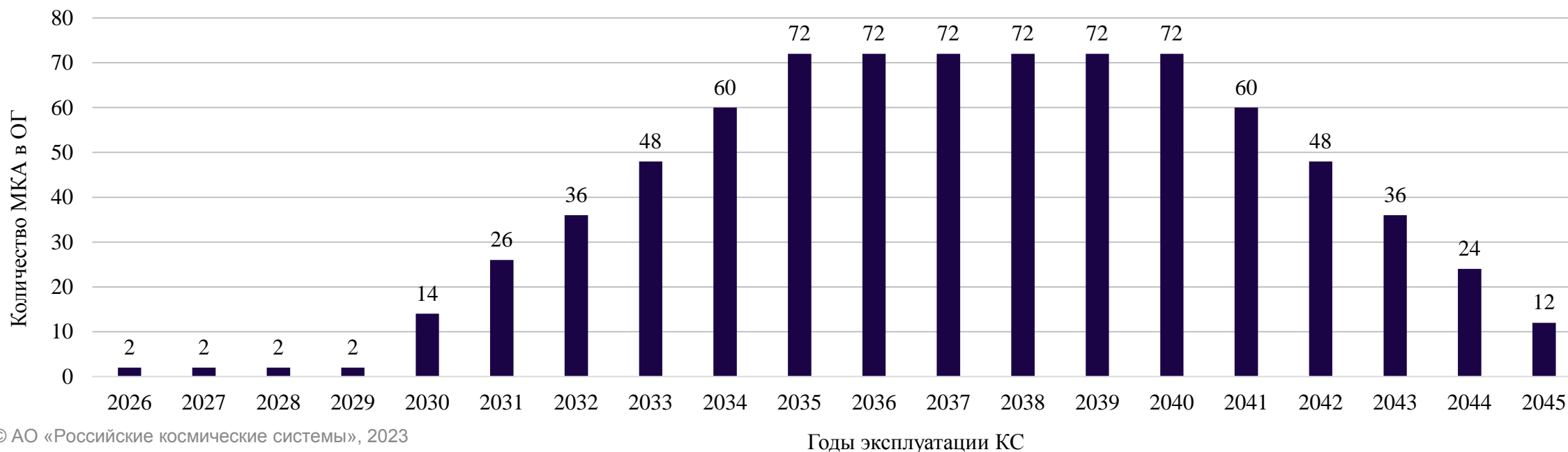
## Стадия 2

- 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 запросному 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