

# Актуальные тенденции развития целевой аппаратуры ДЗЗ

Емельянов А.А. (1), Кучейко А.А. (1,2), Сизов О.С.(1), Маносьева Е.А. (2),  
Ткачук М.О. (2)

*(1) АО «Российские космические системы», Москва, Россия*

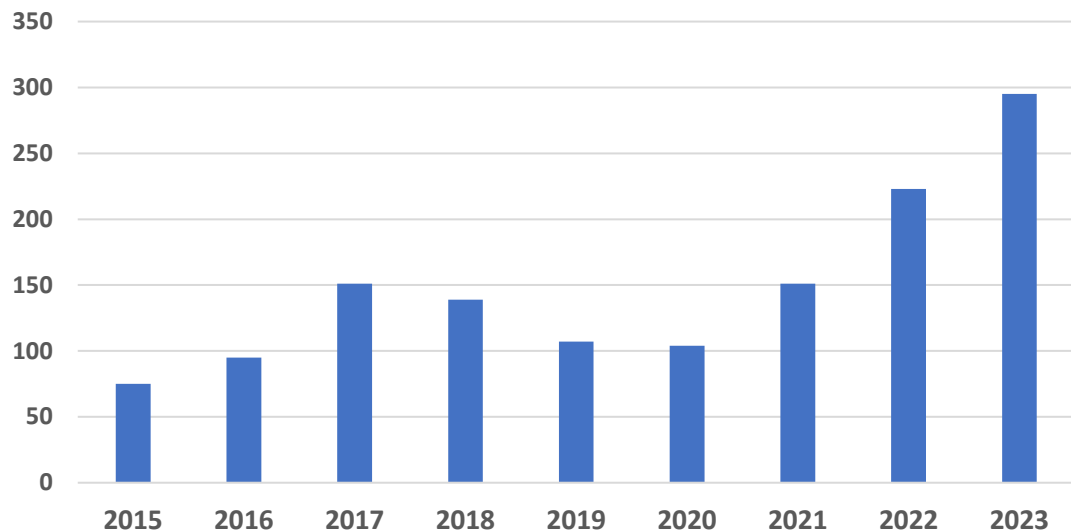
*(2) МАИ, Московский авиационный институт (НИУ), Москва, Россия*

## ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ДЗЗ

- Миниатюризация приборов и снижение стоимости комплектующих COTS способствует **росту числа коммерческих операторов** систем ДЗЗ.
- Будут запущены **тысячи новых КА ДЗЗ**, преимущественно **средне- и малоразмерных** в составе **коммерческих группировок**.
- Продолжится **рост мирового рынка данных ДЗЗ**, информационных продуктов с набавленной стоимостью, услуг и сервисов.
- Сохранится **ключевая роль государственных заказчиков** в развитии и поддержке индустрии ДЗЗ, прежде всего в области безопасности и обороны, государственного и муниципального управления, реагирования на ЧС и в области мониторинга изменения климата.
- Дальнейшее развитие **принципа открытых данных** из финансируемых государством спутниковых программ исследования Земли и изменения климата Copernicus (КА серий Sentinel) Евросоюза, Landsat США и КА других стран.
- Стремление большого числа развивающихся стран создать **национальные системы ДЗЗ** дает возможность продвижению отечественных технологий на международный рынок

# Запуски КА ДЗЗ с 2015 по 2023 год

Число запущенных КА ДЗЗ



- В 2023 году отмечен **рекордный рост** числа запусков КА ДЗЗ сразу на 32% - **35** стран запустили **295** КА,
- В 2023 году больше всего запущено микроразмерных (от 10 до 100 кг) КА ДЗЗ – 127 КА, подавляющее большинство из них – коммерческие;
- По общему числу **лидировали США** – **94** КА (благодаря запуску **72** наноспутников Flock-4 компании Planet), на 2-м месте Китай с **87** КА (лидер в категориях микро- и миниразмерных КА).

Категория КА ДЗЗ	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
1. Крупногабаритные и миниразмерные >100 кг	23	32	27	48	24	21	35	46	50
2. Микроразмерные КА массой от 10 до 100 кг	8	10	12	23	22	12	42	96	127
3. Наноразмерные КА массой до 10 кг	44	53	108	68	61	69	76	81	118
<b>Всего за год</b>	<b>75</b>	<b>95</b>	<b>151</b>	<b>139</b>	<b>107</b>	<b>102</b>	<b>153</b>	<b>223</b>	<b>295</b>

- **Рекордное** число стран-операторов в году – **35**, впервые Джибути, Оман, Колумбия, Кения.
- Основная полезная нагрузка – ОЭС (83%) и РСА (17%).

## Основные технологические тенденции в области ДЗЗ

Повышение пространственного разрешения пространственного разрешения оптических и радиолокационных снимков до **10-15 см** (в том числе путем использования сверхнизких орбит VLEO) и повышение качества и изобразительных свойств изображений с использованием алгоритмов **ИИ Super-Resolution**,

Внедрение архитектуры **периферийных вычислений** наряду с облачной, повышение производительности бортовых процессоров, рапуски **программно-определяемых КА** (flexsat) и алгоритмов **ИИ** для обеспечения многозадачной и оперативной **бортовой обработки** изображений.

Сокращение **сроков выполнения заказов** на съёмку за счет оперативного программирования и межспутниковой передачи продуктов с доведением их на персональные устройства пользователей, реализация спутниковых сервисов ДЗЗ в квазиреальном масштабе времени.

Упрощение доступа пользователей к технологиям и ресурсам ДЗЗ путем реализации запросов на естественном языке с использованием больших языковых моделей LLM.

## Основные виды аппаратуры ДЗЗ и компании-операторы

№	Основные виды аппаратуры ДЗЗ	Сокращения	Компании-операторы группировок ДЗЗ
1	Мультиспектральные ОЭС	MSI	Maxar, BlackSky, Planet Labs, Airbus DS, Spacewill, HEAD, CG Satellites, 21 AT, ISI, Satellogic, SIIS, Satrevolution, Albedo, Axelspace,
2	Гиперспектральные ОЭС	HSI	Spacewill, Satellogic, Pixxel, HySpecIQ, HYPERSAT, Orbital Sidekick, WYVERN, ScanWorld, Satrevolution, Bluefield, Absolut Sensing, Kuva Space, Xplore
3	Видеокамеры	Video	Planet Labs (SkySat), CG Satellite
4	Лидары	Lidar	NU VIEW
5	Инфракрасные ОЭС (средне- и длинноволновой части ИК диапазона)	LWIR, MWIR, Thermal	Orora Technologies, Satellite Vu, ConstellR, Hydrosat, Albedo, Aistech Space, WYVERN
6	Спектрометры газового состава атмосферы (парниковых газов)	GHG	GHGSat, Absolut Sensing, Satlantis
7	РСА X-, C-, S-, L-, P-диапазонов	SAR	e-GEOS, MDA GS, ISI, SIIS, Airbus DS, ICEYE, Capella Space, UMBRA, Spacety, iQPS, Synspective, HEAD, PredaSAR, PASCO, EOS Data Analytics
8	Оптические и СВЧ-радиометры, аппаратура для метеозондирования	Meteocean, Meteorology	Climacell, Climavision, OrbitalMicroSystems, Tomorrow.io
9	Рефлектометрия и просветное зондирование атмосферы сигналами ГНСС	GNSS-R, GNSS-O	Spire, GeoOptics, Planetiq
10	Мониторинг радиочастотного спектра, АИС, АЗН-В	ELINT/RF, AIS, ADS-B, PNT	Hawkeye360, KLEOS, Unseenlabs, Aurora Insight, ExactEarth, OrbComm, Spire, PredaSAR, UMBRA

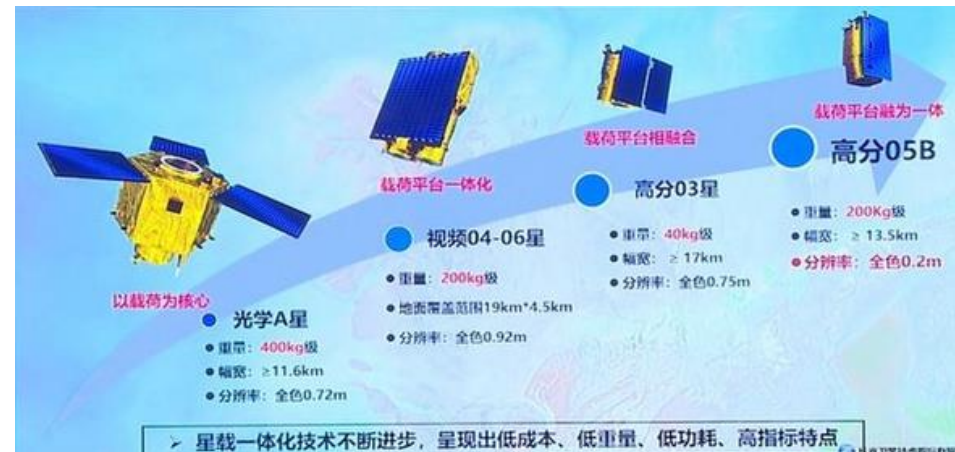
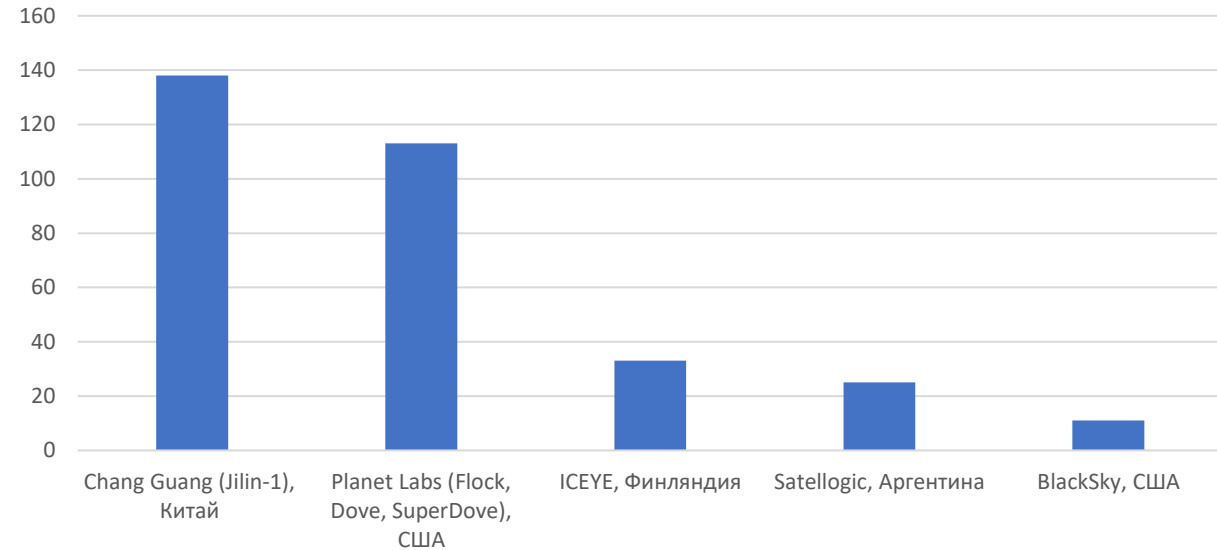
## Новые информационные продукты и возможности ДЗЗ

- Внедрение новых информационных продуктов на основе **комплексного использования датчиков**, работающих на разных физических принципах: РСА+ОЭС, ОЭС+РЧМ, РСА+АИС+РЧМ и др.
- Видео на основе радиолокационных изображений, композитные цветные РЛИ со сверхдлинной базой синтеза апертуры, цветные РЛИ на основе сверхширокополосных сигналов (до 1200 МГц), мультिवременные композиты с когерентностью МТС.
- Оптическая ночная съемка в видимом и ИК диапазонах, изображения, полученные в средневолновой части **ИК диапазона SWIR** или синтезированные с использованием каналов видимого и ИК диапазонов.
- Спутниковая съемка с орбиты космических объектов **Non Earth Imaging (NEI)**
- Оперативная **видеосъемка движущихся объектов** из космоса с автосопровождением
- Внедрения датчиков **IoT в ДЗЗ** для более оперативного реагирования и удешевления решений (сельское хозяйство, обнаружение событий - пожаров, судов, самолетов, утечек нефти, ЧС, обеспечение безопасности и др. Внедрение устройств IoT в ДЗЗ позволяет перейти от принципа работы по плану к принципу «когда надо».
- Оперативное нацеливание КА мегагруппировок на выявленные объекты интереса по результатам бортовой обработки данных

# Топ-5 компаний по количеству спутников в составе орбитальной группировки

Компания	Число КА
Chang Guang (Jilin-1), Китай	138
Planet Labs (Flock, Dove, SuperDove), США	113+
ICEYE, Финляндия	33
Satelloptic, Аргентина	25
BlackSky, США	11

Число КА

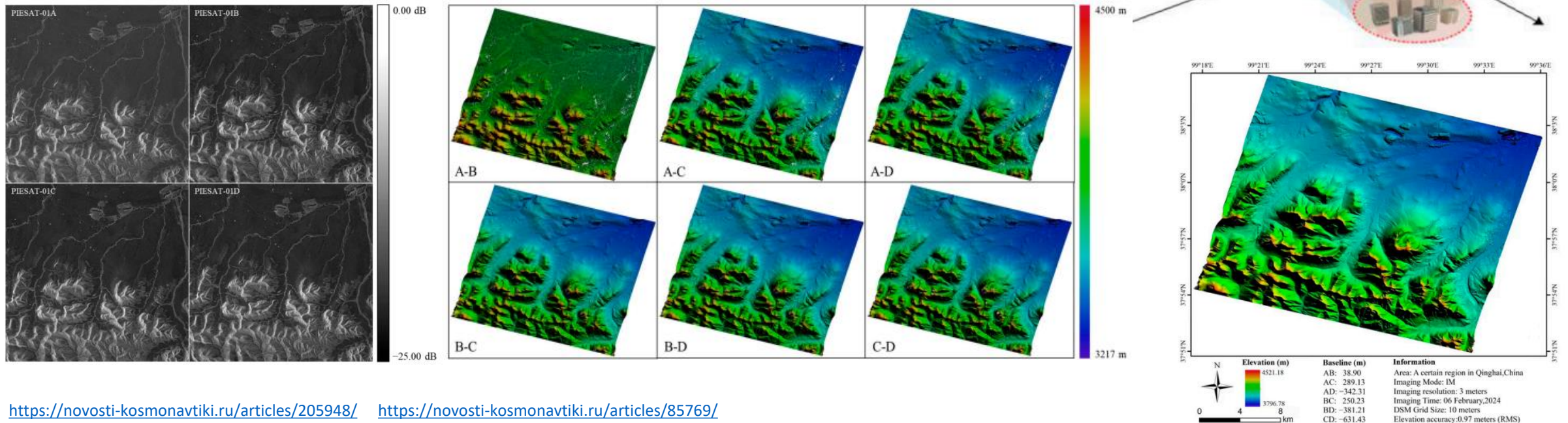
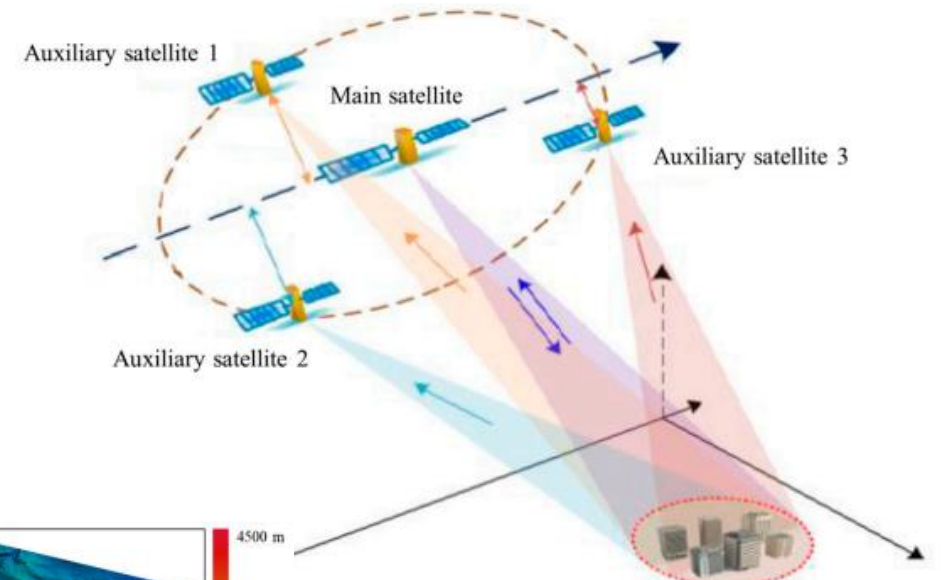


# Новые решения – система баллистически связанных групп по 4 КА с РСА для ИНСАР съёмки

Две группы PIESAT-01A/B по 4 КА запущены в 30.03.2023 и 9.11.2024 годах для картографической съёмки местности.

В любой момент времени главный спутник остается в центре, а три вспомогательных спутника вращаются вокруг него. Благодаря этой уникальной конфигурации созвездия PIESAT-01, с каждым снимком можно получить четыре изображения одного и того же региона и шесть пар базовых линий.

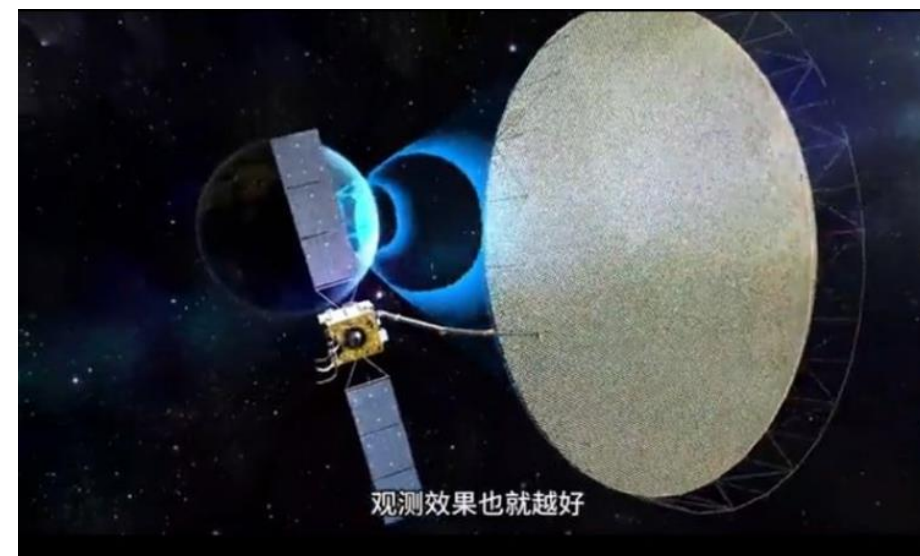
Результаты показывают, что точность цифровой модели рельефа PIESAT-01 соответствует стандартам китайского масштаба 1:50 000 и HRTI-3.





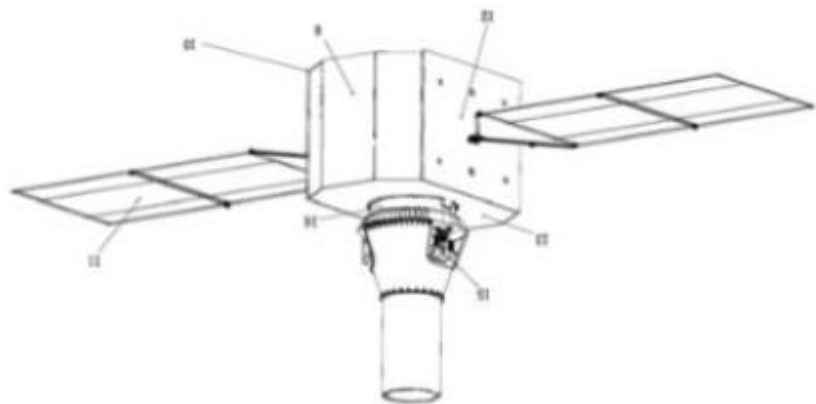
## Новые решения – КА с крупногабаритным РСА на геосинхронной орбите

13.08.2024 в Китае запущен первый гражданский КА радиолокационного наблюдения «Луди таньцэ-4» №01 (Ludi tance 4 01, LT-4 01) на геосинхронную орбиту с наклоном  $15,6^\circ$  в точку стояния  $90^\circ$  в.д. Спутник оснащен РСА L-диапазона с крупногабаритным зеркальным рефлектором и ФАР в качестве облучателя с пространственным разрешением 20 м.



## Новые решения – КА с ОЭС и крупногабаритным зеркалом на геосинхронной орбите

В 2015-2023 годах Китай запустил на геосинхронную орбиту 4 КА разного типа с ОЭС с крупногабаритными зеркальными телескопами и с пространственным разрешением 15-20 м.



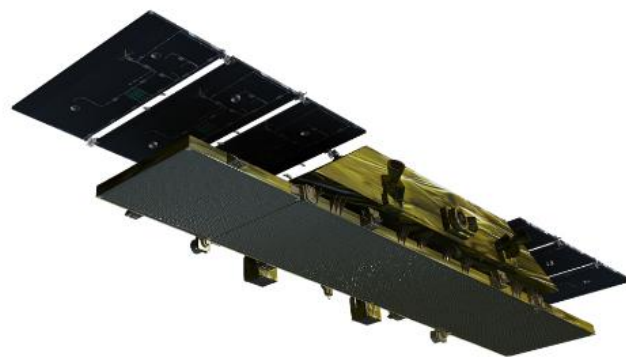
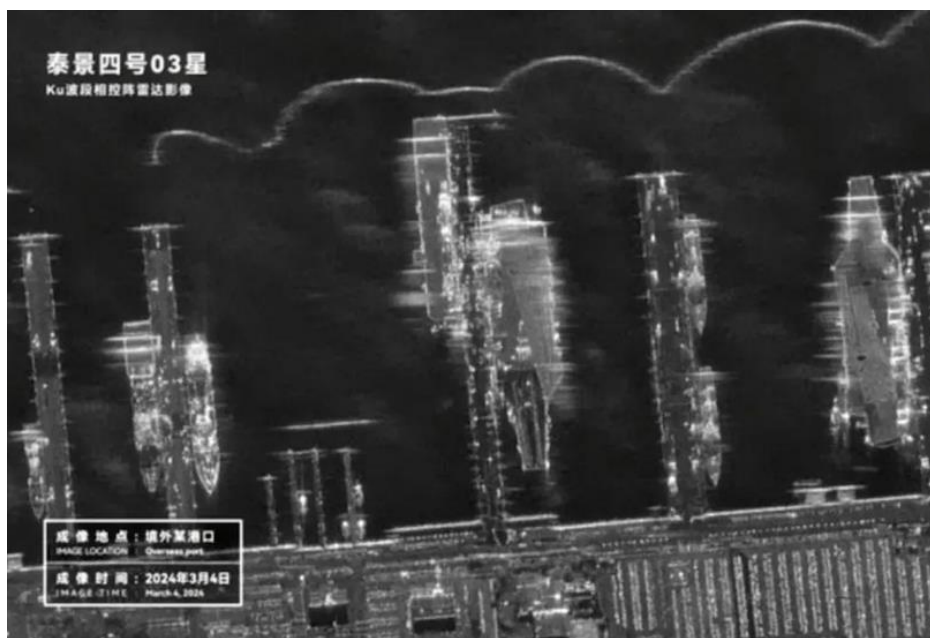
КА	Дата	РН	Тип ЦА	Разрешение, м	Точка ГСО, в.д.
Гаофэнь-4	28.12.2015	CZ-3B	ОЭС	50 м	106° в.д.
Гаофэнь-13-1	11.10.2020	CZ-3B	ОЭС	15-20 м (Ø 1,5 м)	118° в.д.
Гаофэнь-13-2	17.03.2023	CZ-3B	ОЭС	15-20 м (Ø 1,5 м)	147° в.д.
Яогань-41	15.12.2023	CZ-5	ОЭС	5...7 м (Ø 4 м, оценка)	123° в.л.

## Первые РСА Ku-диапазона частот и новые режимы съемки РСА

Первый китайский коммерческий КА Тайцзин-4» №03 (Taijing-4 03) массой 230 кг с бортовой РСА Ku-диапазона с фазированной антенной решеткой на платформе MN200S. Аппарат выполнен в «плоской» конфигурации, рассчитанной на пакетный запуск для развертывания многоспутниковой орбитальной группировки.

КА предназначен для мониторинга океанов и может вести радиолокационную съемку в нескольких режимах, включая маршрутный и обзорный с лучшим пространственным разрешением 0.5 м при ширине полосы захвата >10 км. Бортовая система управления с элементами ИИ обеспечивает быстрое обнаружение морских и воздушных целей и позволяет вести съемку параллельно со сбросом информации.

Ещё 2 КА Чжункэ №01 и №02 с РСА Ku-диапазона запущены 26.09.2024.



## Новые решения – спектрометр регистрации солнечно-индуцированной флуоресценции хлорофилла (СИФ).

11.11.2024 Китай запустил коммерческий КА оптического наблюдения «Сигуан-1» №04 (Xiguang-1 04) массой 75 кг, разработанный в. КА оснащен мультиспектральной ОЭС и спектрометром. ЦА обеспечивает обнаружение точечных источников метана в интересах исследования климата и определение содержания метана (пространственное разрешение 25 м, спектральное разрешение 0.1 нм), а также регистрацию солнечно-индуцированной флуоресценции хлорофилла (СИФ). Оператор КА - Сианьская космическая научно-техническая компания «Чжункэ Сигуан».

Запуск европейского спутника FLuorescence EXplorer (FLEX) запланирован на 2025 год.

