РКС
РОССИЙСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

РОСКОСМОС

Оценка развития многоспутниковых группировок радиолокационного наблюдения (РЛН) в зарубежных странах



Селин В.А. (1), Кучейко А.А. (1,2), Борисов А.В. (1), Чибисова Л.В. (2), Ткаченко А.И. (2)

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

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

Классификация КС РЛН

Цель работы – изучить тенденции формирования и развития национальных группировок космических систем радиолокационного наблюдения (КС РЛН).

Для исследования разработана база данных BaseМКА, созданных силами студентов МАИ на основе открытых данных.

Предложено выделить **3 класса систем КА РЛН**:

1. Государственные гражданские КС РЛН – созданы на бюджетные средства космических агентств (или ГЧП), срок разработки 5-10 и более лет, крупногабаритные, тяжелые (1-2 т) и дорогостоящие (в среднем $100-500 млн.) КА с РСА C-, L, S-диапазонов частот низкого, среднего и высокого разрешения, основные задачи– сбор данных РЛН в глобальном масштабе для поддержки информационных сервисов (программа Коперник), реагирование на ЧС и научные исследования (изменение климата и науки о Земле). Состав КС РЛН – от 1 до 2-4 КА - Сентинель-1, Гаофэнь-3, S-SAR, L-SAR, RCM, ALOS и др.

2. КС РЛН военного и двойного назначения созданы при полном или частичном финансировании оборонных ведомств, КА на базе средне- и крупноразмерных платформ (1-2 т), дорогостоящие с РСА X-диапазона частот высокого и сверхвысокого разрешения, основные задачи – мониторинг инфраструктуры и объектов. Состав КС РЛН – 4-5 КА и более (х) – CSM, CSG, PAZ, IGS-R, RISAT-1 и др.

3. Коммерческие КС РЛН созданы на привлеченные средства инвесторов, крупных корпораций при прямой или косвенной господдержке, малогабаритные КА класса мини (100-500 кг) с РСА X- и C-диапазонов частот, срок разработки КА от 0,5 до 2-3 лет, основные задачи – получение прибыли путем создания новых информационных продуктов и сервисов, основной рынок – государственные, корпоративные и зарубежные заказы – ICEYE, Capella, Umbra, Strix и др.

Мировая орбитальная группировка КА РЛН (на 01.01.2026)

	Государство (Оператор)	Государственные гражданские КА	КА военные и 2-ного назначения	Коммерческие КА	Всего
1	Китай	8	25	35	68
2	США	1	5 (+x)	13	19
3	ЕС / ESA	6	14	40	60
	ESA	3			
4	Финляндия			40 (45)	
5	Италия		5		5
6	Германия	2	7		9
7	Испания		1		1
8	Британия	1			1
9	Польша		1		1
10	Япония	2	7	15	24
11	Корея	1	4	1	6
12	Индия	1	3		4 (+1)
13	Канада	3		1	4
14	Израиль		4		4
15	Россия	3	1		4
16	ОАЭ		3		3
17	Аргентина	2			2
18	Бразилия		2		2
19	Сингапур	1			1
20	Пакистан		1		1
	ИТОГО	28	59	115	202
		14%	29%	57%	

Результаты анализа

Оценочная численность мировой группировки КС РЛН на 01.01.2026 – около **202** КА (погрешность 2-3%). Соотношение между 3 классами КА РЛН: - государственные гражданские **15%**; - военные и двойного назначения **28%** и - коммерческие **57%**.

Выделено 3 группы стран-операторов КС РЛН.

1. Группа лидеров «Большая 4» – **Китай, Европа (ЕС/ESA), США, Япония,** национальные группировки которых насчитывают **десятки КА с РСА (19-68 КА).**

2. Группа крупных стран-операторов КС РЛН с **4-9 КА** с РСА на орбите - **Германия, Италия, Корея, Индия, Канада, Израиль и Россия.**

3. Группа стран-операторов, которые приступили к разработке или закупили по 1-3 КА с РСА – **ОАЭ, Аргентина, Бразилия, Сингапур, Пакистан.**

Всего около **20 стран и организаций** являются операторами национальных КС РЛН, более **60 стран эксплуатируют собственные** КС с оптоэлектронной аппаратурой съёмки Земли. В этой связи для разработчиков КА с РСА открыты **перспективы для продвижения КС РЛН на зарубежные рынки**.

Итоги запусков КА с РСА в 2025 году

	Государство (Оператор)	Государственные гражданские КА	КА военные и 2-ного назначения	Коммерче-ские КА	Всего
1	Китай		2	6	8
2	США	1	(x)	3	4
3	ЕС / ESA	2	(1)	22 (17)	24
4	ESA	2			
5	Финляндия			22 (17)	
6	Польша		(1)		
7	Япония			7	7
8	Корея		2		2
9	Израиль		1		1
10	Россия	1 (э)	1		2
11	ОАЭ	1	(4)		1 (+4)
12	Пакистан		1		1
	ИТОГО	5	7	38	50
		10%	14%	76%	

Примечание. В скобках указаны 5 КА РЛН компании Iceye, переданные зарубежным заказчикам по военным контрактам, а также неизвестное число КА военных КА США.

По данным BaseМКА на протяжении последних 5 лет (2022-2026 годы) отмечается **устойчивый рост числа запусков КА РЛН**, в основном коммерческих операторов.

За 2025 год запущены **50 КА с РСА** (**рекорд**) в интересах **12** стран-операторов что составляет **25%** мировой группировки КА с РСА.

Больше всех – **22 КА с РСА** запущено **Финляндией** (компания **ICEYE**), в том числе **5 КА** по заказам зарубежных стран - ОАЭ и Польши (**рекорд ежегодного прироста КА с РСА от одного оператора !**).

Основная часть новых КА с РСА – **76%** от запущенных в 2025 году, принадлежат **коммерческим операторам.** Коммерческие системы – **основной фактор роста** группировок КА с РСА.



Итоги запусков КА с РСА в 2026 году (до 1.11.2026)

	Государство (Оператор)	Государственные гражданские КА	КА военные и 2-ного назначения	Коммерческие КА	Всего
1	**Китай**		**6**	**16**	**22**
2	**США**		**(x)**	**8**	**8**
3	**ЕС / ESA**	**1**	**2**	**22**	**25**
4	**Финляндия**		(+1)	22 (14)	22
5	**Италия**		1		1
8	**Британия**	1			1
	Португалия		(+4)		
9	**Польша**		1 (+3)		1
10	**Япония**			**8**	**8**
12	**Индия**			**1**	**1**
	ИТОГО	**1**	**8** (+8)	**55**	**64**
		1%	**15%** (25%)	**86%** (76%)	

Примечание. В скобках указаны 8 КА РЛН компании Iceye, переданные зарубежным заказчикам по военным контрактам, а также неизвестное число КА военных КА США.

За 2026 год будут запущены **64+ КА с РСА** (**новый абсолютный рекорд!**) в интересах **12** стран-операторов (в основном из группы стран «Большой четверки»).

Больше всех – **25 КА с РСА** запущено в Европе, ведущий оператор КС РЛН - компания **ICEYE** (Финляндия) повторила результат 2025 года в **22 КА** (**8** из них переданы зарубежным военным заказчикам).

Основная часть новых КА с РСА **в 2026** году – **86%** принадлежит **коммерческим операторам.** Снижается доля гражданских государственных систем при росте вклада коммерческих операторов, что стало главным фактором **роста** группировок КС РЛН.

Важнейшей тенденцией 3 последних лет стало изготовление на базе коммерческих КА с РСА военных КС РЛН, технические характеристики которых доведены до требований оборонных заказчиков. В этой связи коммерческие КС РЛН становятся составными элементами **национальной военной информационной инфраструктуры**. Крупнейший оператор КС РЛН – европейская компания ICEYE поставляет «под ключ» так называемые **суверенные** космические системы РЛН по заказам зарубежных **оборонных и силовых структур**.

Оценки мирового рынка данных РЛИ

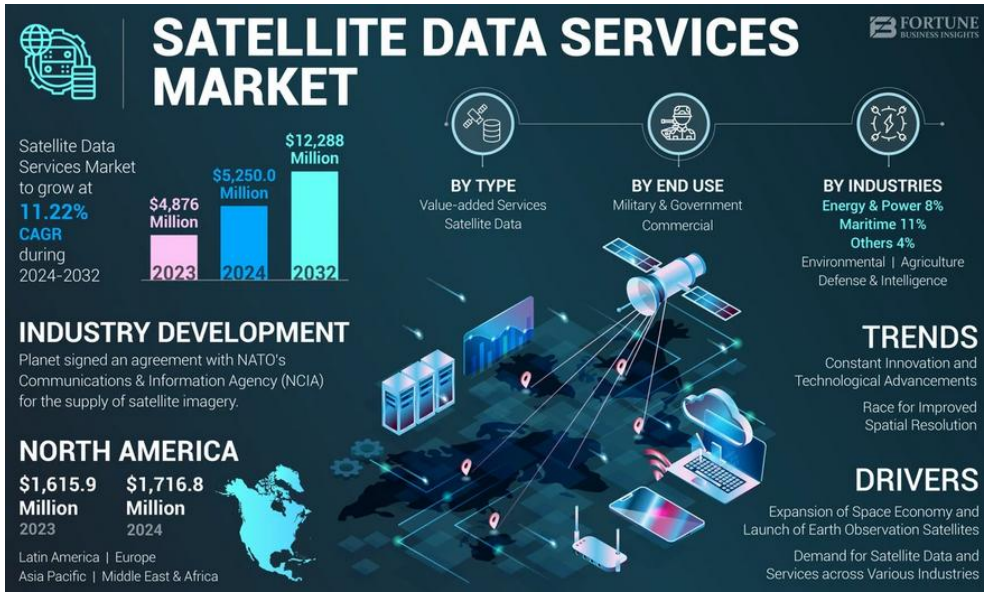
Мировой рынок радиолокационных данных по прогнозам **будет расти** в ближайшие 7-10 лет со среднегодовым приростом **10-13% CAGR** (в среднем от $1-4 млрд. до $5-9 млрд. в 2032 г).

Важнейшие факторы, стимулирующие рост рынка данных РЛИ:

- **высокая геополитическая напряженность, вооруженные конфликты и войны**, которые привели к увеличению расходов государственных оборонных и разведывательных ведомств на системы наблюдения.
- нестабильность **климатических условий** и необходимость постоянного мониторинга окружающей среды и реагирования на ЧС обеспечили растущий спрос на всепогодные возможности слежения с помощью РСА
- **технологические достижения**, снижение стоимости пусковых услуг и улучшение алгоритмов обработки радиолокационных данных сделали КС РЛН **все более доступными и экономически выгодными** как для оборонного, так и для коммерческого использования.

Основными потребители — свыше 50% объема рынка — по-прежнему **будут структуры обороны и безопасности**, а также **органы государственной власти**.

Основные области тематического применения РЛИ - **морские сервисы, прогнозирование и смягчение последствий ЧС, мониторинг инфраструктуры, сельское и лесное хозяйства, нефтегазовая и добывающая промышленности, страхование.**



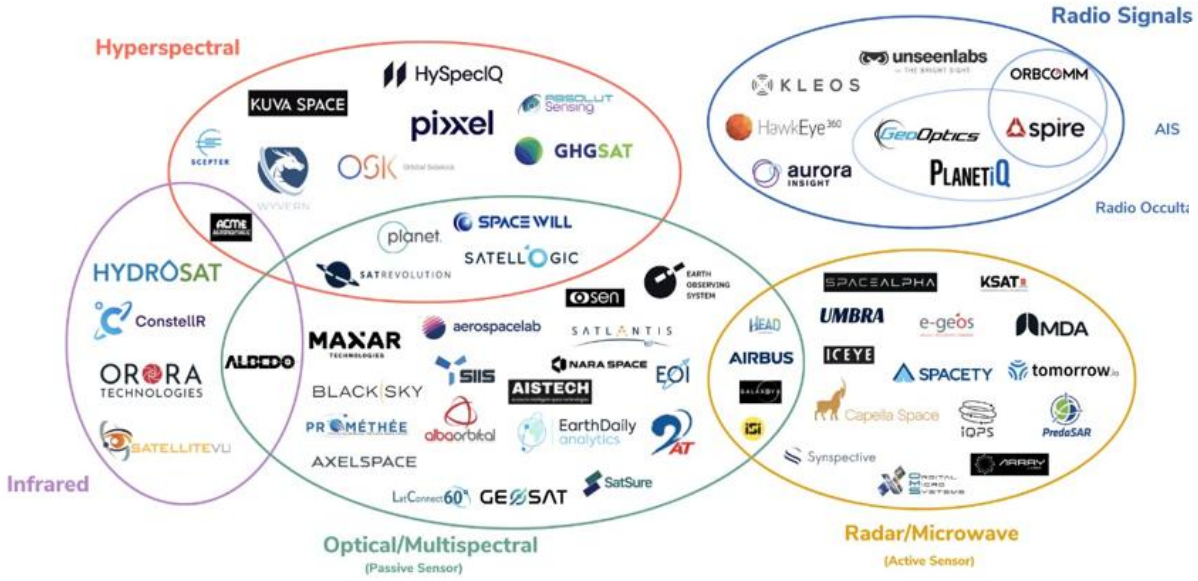
ttps://www.lucintel.com/sar-satellite-service-market.aspx
https://www.fortunebusinessinsights.com/synthetic-aperture-radar-market-115256
https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/synthetic-aperture-radar-market

Основные компании-операторы коммерческих КС РЛН на мировом рынке

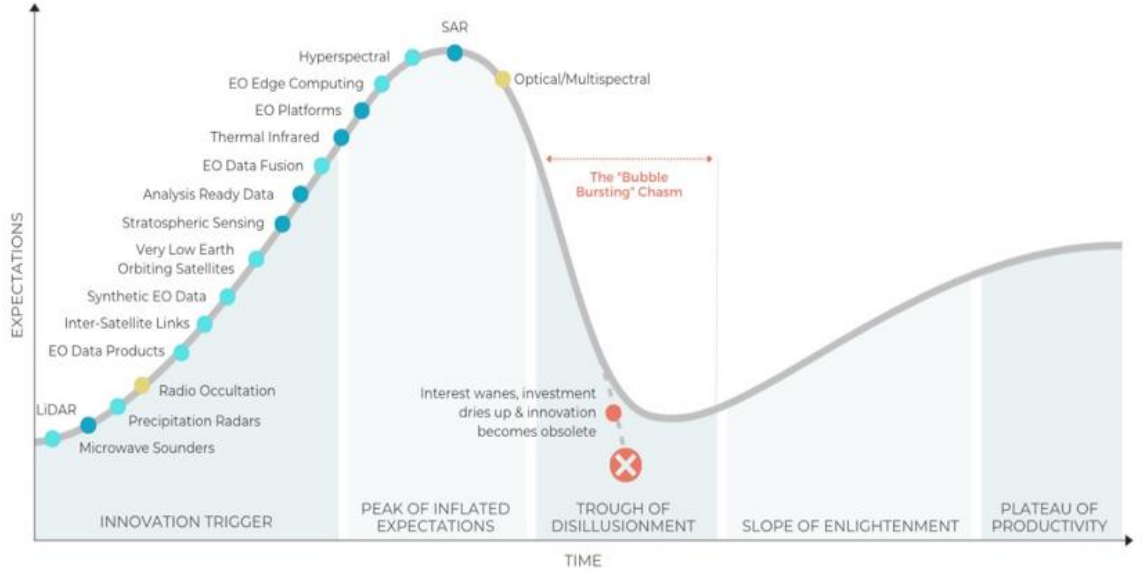
На мировом рынке данных РЛН работают >**20 крупных участников**, среди них компании т.н. **«Старого Космоса»** - e-GEOS, MDA, AIRBUS DS, HEAD, KSAT, ISI, PASCO, SIIS, SpaceWill; **и компании «Нового Космоса» (NewSpace) -** ICEYE, Synspective, iQPS, Umbra, Capella, Spacety, SpaceWill, MinoSpace и др.– рынок конкурентный и динамичный.

В США в начале 2020-х годов регулятор выдал лицензии на запуски группировок малогабаритных КА с РСА **9** компаниям. Аналогичные проекты анонсировали еще несколько компаний из стран Европы, Китая и Японии, что позволило назвать сложившуюся ситуацию с запуском группировок миниразмерных КА РЛН в мире как **«бум радиолокации».** Но реальность оказалась сложнее и операторами крупных орбитальных группировок РЛН в США стали лишь две компании - Umbra и Capella. На американский рынок вышли также успешные зарубежные компании ICEYE USA и AIRBUS DS.

Самым перспективным рынком в 2020-х годах считается рынок стран **АТР и Ближнего Востока**.

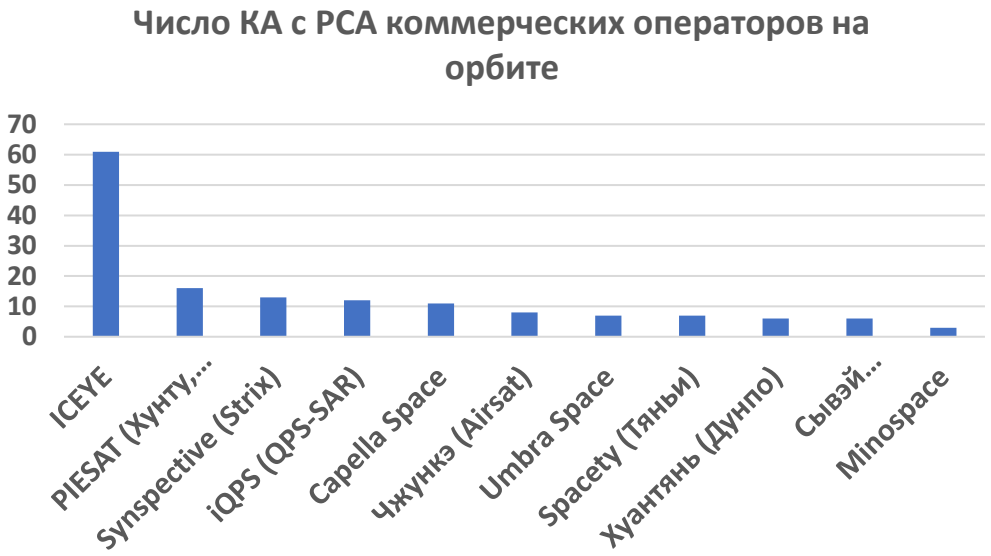


Ведущие компании-игроки на рынке ДЗЗ (Aravind, 2025).



Кривая Гартнера (цикл зрелости технологий) для аппаратуры ДЗЗ. По оценкам, технологии РСА находятся на пике ожиданий (Aravind, 2025).

Группировки КС РЛН основных коммерческих операторов (на 1.11.2026)



Примечание. В скобках указано планируемое число запусков КА с оптической аппаратурой.

Компания	Страна	КА на орбите	КА по плану
ICEYE	**Финляндия**	61	-
PIESAT (Хунту, Nuwa)	**Китай**	16	28 (+10)
Synspective (Strix)	**Япония**	13	30
iQPS (QPS-SAR)	**Япония**	12	36
Capella Space	**США**	11	40
Чжункэ (Airsat)	**Китай**	8	24 (+ 16)
Umbra Space	**США**	7	24
Spacety (Тяньи)	**Китай**	7	56
Сывэй (SpaceWill)	**Китай**	6	8 (+20)
Хуантянь (Дунпо)	**Китай**	6	32 (100 к 2030)
Minospace	**Китай**	3	12
		150	

В число 11 крупнейших коммерческих операторов многоспутниковых КС РЛН стран «большой четверки» входят **1** компания из Европы (**61** КА на орбите, мировой лидер), **6** компаний Китая (**46** КА), **2** компании Японии (**25**), 2 компании США (**18**) – всего 150 КА или более 50% мировой группировки КС РЛН. Планы по развитию КС РЛН в **среднем 30-50 КА**.

Три подхода к организации национальных систем:

1. **Европа – «Один безусловный лидер»,** европейская компания-стартап ICEYE с **самой большой в мире** группировкой КА РЛН, которая активно работает по военным экспортным поставкам в страны Европы, США, Южной Америки и Азии.

2. **Китай – «Расцветает сад из многих цветов»**, пока нет крупных КС РЛН, но создано >5 крупных производственных центров, которые поставляют КС РЛН на внутренний и внешние рынки.

3. **США и Япония – по 2 ведущих оператора-конкурента**, которые сейчас быстро наращивают численность (по 30-40% КА из ОГ запущены в 2026 году).

https://www.newspace.im/assets/fig/Newspace_constellations_sar_2026-07-31_3.png

Космические системы РЛН Китая.
Всего КА с РСА в Китае всех классов – 68 КА (на 01.01.2026)

Государственные КС РЛН

КС РЛН гражданских министерств и АН КНР

КС МПР «Гаофэнь» (GF) – **3** КА **C-SAR**

КС МЧС и минэкологии (HJ-2) – **2** КА **S-SAR-01 и -02**

КС МПР «Луди Таньцэ-1» (LT-1) – **2** КА **L-SAR-01, 02**

КС на ГСО «Луди Таньцэ-4» (LT-4) – **1 КА LT-4**

Всего – **8 КА**

12%

КС РЛН двойного назначения и военные

КС «Гаофэнь» (GF-10, -12) – **7 КА**

КС ВКР «Яогань» (YG) – > **6 КА**

КС картографии и ИНСАР съёмки «ТяньХуэй» (TH-2, 5, 6) – **10 КА**

КС ВЭС «Шиянь-30» -01 и -02 – **>2 КА**

Всего >**25 КА**

37%

Коммерческие КС РЛН

КС компании **«Сывей»** (China Siwey) – **4 КА**

КС ИНСАР компании **«Хунту»** - **12 КА**

КС компании **SpaceTY (НИИ Тяньи)** и компании **«Синцзо» - 5 КА;**
КС компании **Minospace (Beijing Weina) - 3 КА** ;
КС компании при **АН КНР - 6 КА** ;

КА компании «Чжисин»;
КА компании «Чангуан»;
КА компании Shandong Industrial Technology Research Institute;
КА университета Ухань;
КА компании «Хуантянь».

Всего – **35 КА**

51%

Источник – база данных МКА МАИ

Технологические достижения в области КС РЛН в Китае

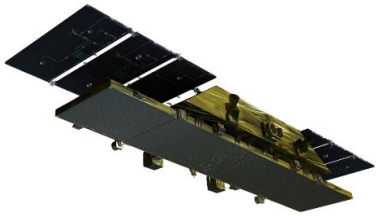
Достижения в миниспутников с РСА разных диапазонов частот

Первые в мире (с **2020**) **«плоские» миниспутники с РСА диапазонов частот С-**частот («Хайсы-1!, «Чаоху-1», «Фучен-1» и др.) массой 185 кг компании Spacety (институт Тяньи).

Первый в мире (**2024**) коммерческий спутник с РСА **Ku-диапазона** Тайцзин-4-03 компании Minospace массой 230 кг с бортовой системой **обработки РЛИ с элементами ИИ.**

Первый в мире (**2023**) КА с РСА **Ка-диапазона** частот «Лоцзя-2» №01 университета Ухань с режимами **видеосъёмки и СДЦ**.

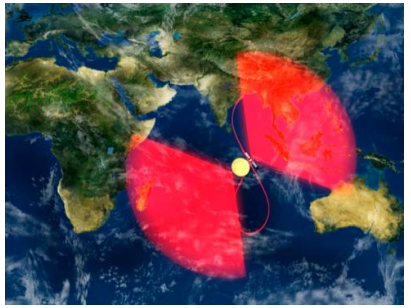




Размещение КА с РСА на новых орбитах

Первый в мире (**2024**) КА с РСА выведен на **сверхнизкую орбиту высотой 380 км.** КА «Чжункэ-08» («Хайшао-1») массой 400 кг с РСА X-диапазона (разрешение до 0,1-0,5 м) с дополнительной камерой дневной и ночной съемки, показана **видеосъёмка РСА (videoSAR)** 22 сек.

Первый в мире **КА РЛН га ГСО** LT-4 №01 (**2023**). Бортовой радиолокатор L-диапазона частот высокочастотные (ежечасные) наблюдения как на территории страны, так и в соседних регионах **с разрешением 20 м.**

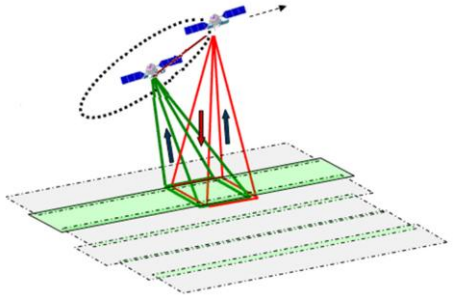


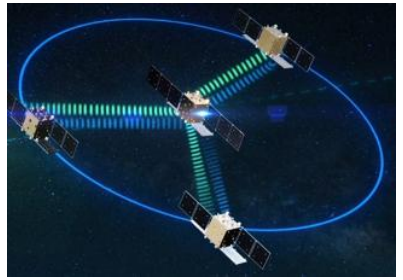


Тандемные группы для ИНСАР съёмки

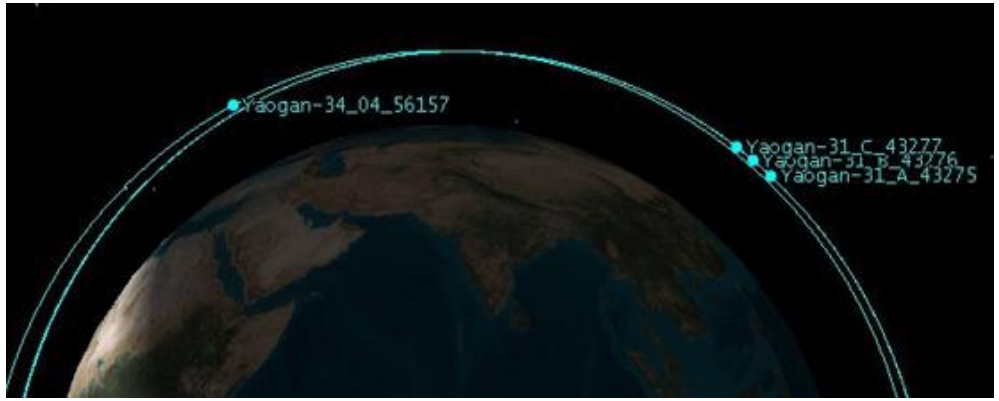
Первая в мире (**2019-2021)** распределенная интерферометрическая система **ИНСАР** из **двух тандемных пар (4 КА)** с РСА X-диапазона **«ТяньХуэй 2» (TX-02)**, точность ЦМР эквивалентна системе **TSX/TDX** (Германия). Запущено ещё 6 типовых КА РЛН TX-05, -06.

Первая в мире (**с 2023)** многобазовая распределенная баллистически связанная группа из **4 МКА с РСА X-диапазона**, построенная по принципу **«Колесо колесницы» Cartwheel)** «Хунту» (**конфигурация КС РЛН изменена**).

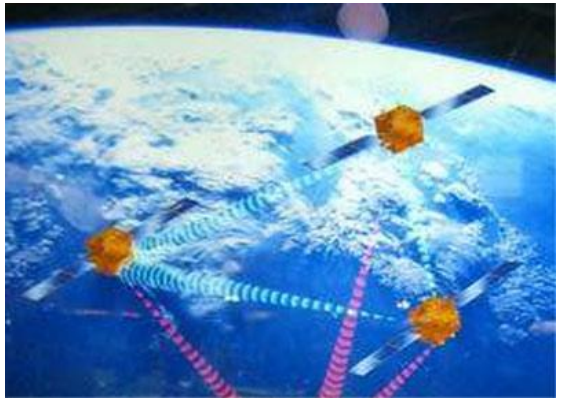




Технологические достижения в области РСА в Китае: бортовая обработка РЛИ с ИИ, межспутниковая связь, межсистемное взаимодействие группировок







Взаимодействие нескольких группировок КА с целевой аппаратурой на разных физических принципах - радиочастотного мониторинга (РЧМ), оптического и радиолокационного наблюдения с использованием межспутниковых каналов связи и бортовой обработки с ИИ

Пример:

- **система радиочастотного мониторинга** из 4 групп КА «Яогань-31» (по 3 спутника на расстоянии 100-120 км) для предварительного обнаружения объектов в море в широкой полосе наблюдения (2-3 тыс.км), аналог системы NOSS ВМС США;

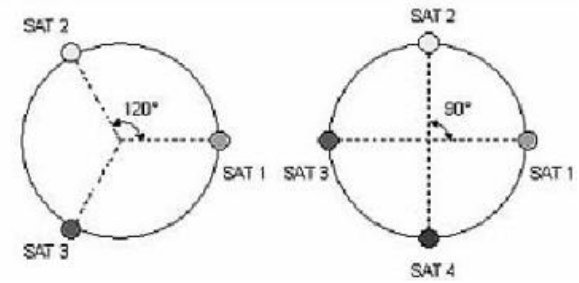
- **система с ОЭС и/или РСА** из 4 КА «Яогань-34», которые следуют за тройками на удалении в среднем 10 минут (30° по центральному фазовому углу) для детальной съёмки объектов, обнаруженных тройками.



https://habr.com/ru/news/656215/ https://novosti-kosmonavtiki.ru/articles/85772/ https://isruniversity.com/wp-content/uploads/2023/12/2023-12-24-Final-Frontier-Flash-1.pdf https://novosti-kosmonavtiki.ru/articles/202769/

Орбитальная структура многоспутниковых группировок РЛН ведущих мировых операторов

1. Регулярные орбитальные структуры - в системе КА ДЗЗ поддерживается заданное число орбитальных плоскостей с определенным угловым разносом между плоскостями, с заданной высотой орбиты и заданным фазовым разносом между КА в орбитальной плоскости. Системы военные и 2-ного назначения ВКР США, Индии, Китая, Италии и гражданские государственные системы с крупно- и среднегабаритными КА РЛН. (**Гаофэнь-3, -12, ТН-2, Cosmo-SkyMed, RISAT-1** и др …).



2. **Нерегулярные (несистематические) орбитальные структуры** – многоспутниковые ОГ с изменяющимся числом орбитальных плоскостей и разными высотами КА в системе, как правило, с малоразмерными КА коммерческих операторов. Пополнение таких группировок осуществляется в результате частых групповых запусков полезных нагрузок (ПН), где рассматриваемые КА ДЗЗ не всегда являются основными ПН и не выводятся точно в существующие орбитальные плоскости уже развернутой группировки. Основным критерием рассматриваемых группировок является обеспечение просмотра объектов с заданной частотой и пространственным разрешением. КС РЛН ведущих частных компаний США, Японии и Китая (**iQPS, Synspective, Capella, Umbra, Чжункэ** и др.).

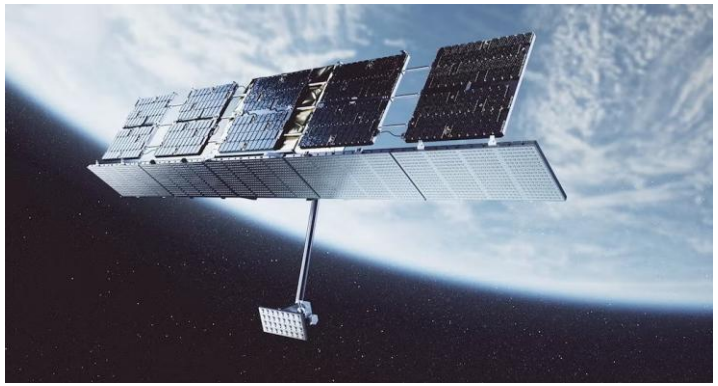
3. **Комбинированные (гибридные) орбитальные структуры** – многоспутниковые ОГ, применяющие принципы нерегулярных (несистематических) и регулярных орбитальных построений в рамках одной орбитальной группировки. Подобный комбинированный принцип используется в многоспутниковых орбитальных группировках малоразмерных коммерческих КА, когда внутри одной плоскости, сформированной в результате одного группового запуска, поддерживается заданное взаимное положение КА, как правило радиолокационного наблюдения для реализации интерферометрической съёмки (**ICEYE,** Planet, …).

Развитие компании ICEYE (Финляндия)

Частная компания **ICEYE Oy** образована в 2012 году в Аальто (Финляндия). Численность персонала >900 чел. Открыты филиалы в Польше, Британии и в США (Сан-Франциско). В американском филиале Iceye USA создан производственный и операционный центр. От инвесторов привлечено $1.01 млрд. Портфель заказов компании $1,5 млрд. Среди инвесторов – компании Дании, Франции, Польши, финские инвесторы - суверенный фонд благосостояния Финляндии, страховая компания Varma Mutual Pension Insurance**.** https://pitchbook.com/profiles/company/129020-68#faqs https://www.satellitetoday.com/finance/2025/12/08/iceyes-latest-raise-values-company-at-2-8-billion/

Основное достижение – создание первого в мире микроразмерного КА ICEYE-X с РСА X-диапазона, который прошел через **4 поколения**, в результате развернута **крупнейшая в мире группировка,** в 2019-2026 годах запущено 84 КА, из них **на орбите 61 КА на орбите** (часть передана заказчикам). **Контракты -** поставлены КС РЛН «под ключ» в **Бразилию, Польшу, ОАЭ**, заключены контракты с НАТО, NRO США, минобороны Португалии, Нидерландов, Финляндии, Швеции, Германии, Греции, Украины и др.

Срок поставки КС РЛН от заказа до запуска и ввода в эксплуатацию - **12 месяцев**. От заказа до запуска КА **3-4 месяца**. Заявлен темп производства **50 КА** в год, хотя ежегодный темп запусков составляет **22**. Для проектной частоты просмотра каждые 20-30 минут любого объекта на Земле потребуется около **100 спутников** на орбите. Оценочная стоимость одного КА - **$25 млн.** хотя стоимость типового контракта на поставку КС РЛН - **$100-200 млн.** (вместе с наземным сегментом).

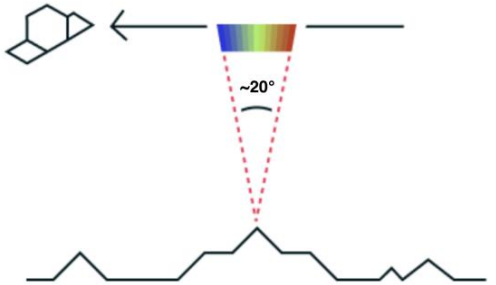


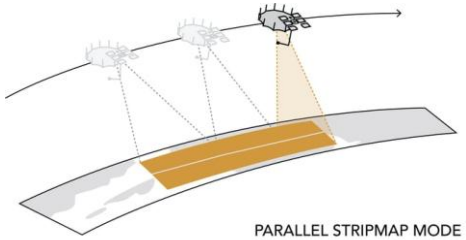
Этапы совершенствования КА ICEYE-X

Параметр	Поколение 1	Поколение 2	Поколение 3	Поколение 3.5	Поколение 4
Первый запуск	2019	2021	06.2023	03.2024	03.2025
Разрешение, м	1	1	0,5	0,25	0,16
Масса КА, кг	80	92	110	120	200
Ширина спектра сигналов, МГц		300	600	1200	1200
Число режимов съёмки	3	5	7	9	9

Новые режимы съемки РСА спутников компаний Iceye, Capella, Umbra

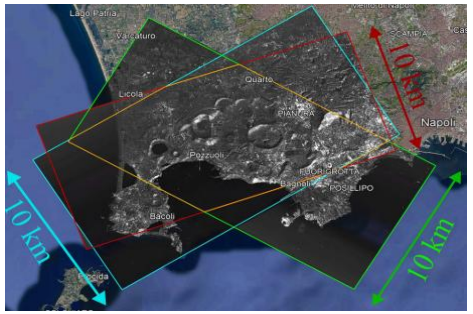
- Режим **цветной субапертурной съёмки** (Colorized Sub-aperture Images - CSI) РСА спутников Iceye, Capella, Umbra, где различные цвета присваиваются сигналам обратного рассеяния от субапертур, которые затем интегрируются в составное цветное изображение. Искусственные объекты с плоскими поверхностями или острыми углами обычно являются анизотропными рассеивателями, которые выделяются доминирующим цветом на изображении CSI, в то время как природные объекты - изотропные рассеиватели, отображаются серыми тонами на РЛИ CSI.



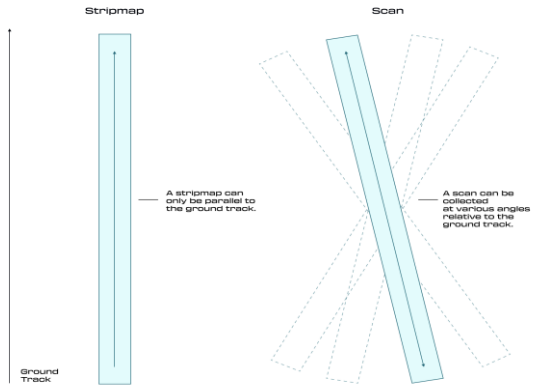


- Режим **параллельной маршрутной съёмки** (Parallel Stripmap) РСА Capella позволяет удвоить ширину захвата РЛИ, создавая две параллельные полосы изображения за один проход, что обеспечивает увеличение ширины и площади РЛИ без уменьшения разрешения. Размер сцены: 20 x 20, 50, 100 км, Разрешение по азимуту: 1.2 м, Разрешение по наклонной дальности: 0.75 м.

- Режим **интерферометрической съёмки ИНСАР с орбит среднего наклонения** КА Capella для восстановление трехмерных временных рядов смещения поверхности Земли на основе разновременных и многоракурсных РЛИ**.** Орбиты со средним наклоном позволяют определять смещения поверхности в направлении север-юг, преодолевая ключевое ограничение обычных солнечно-синхронных орбит.



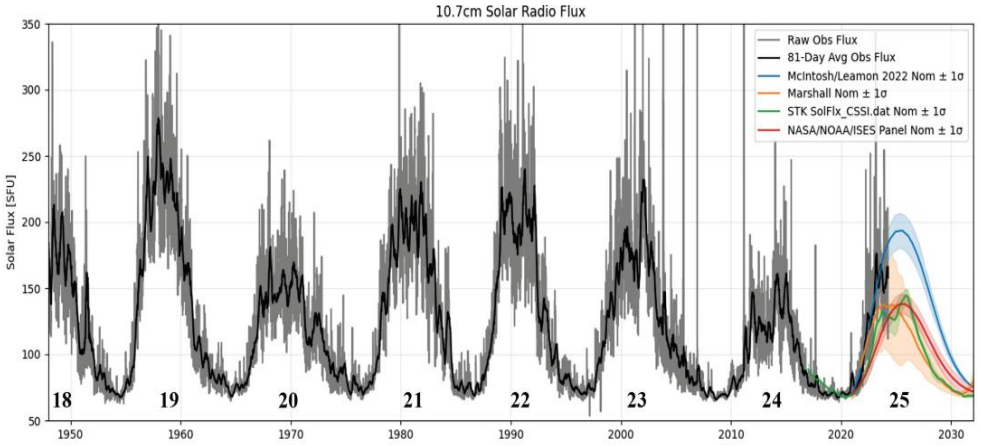
Карты скорости смещения в направлении «Север-Юг», «запад-Восток», «Верх-Низ».

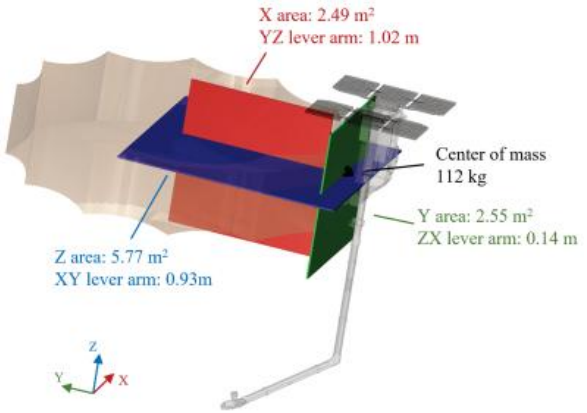


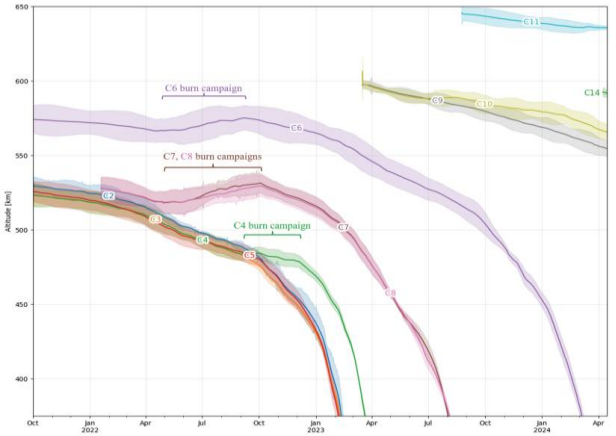
Скошенный режим сканирования (Scan) компании Umbra — режим маршрутной съёмки под углом к траектории полета КА, обеспечивает высокодетальную съемку обширных районов с разрешением от 0,5 до 2 м, зона захвата — до 8 км × 100 км.

Другие режимы – видеоРСА (VideoSAR), пассивного радиочастотного мониторинга (Umbra), селекции движущихся целей (СДЦ, MTI) и др.

Неожиданный противник малогабаритных КА РЛН – вспышки на Солнце и геомагнитные бури







Космическая погода может привести к сокращению срока службы КА на низких орбитах из-за неучтенного более сильного сопротивления атмосферы. В 2023-2024 годах компания Капелла потеряла **6 КА серии Whitney** из-за **геомагнитных бурь, большой площади миделя и маломощных ДУ**. Пришлось брать новые кредиты и создавать КА нового поколения. Конструкция спутников «Уитни» была основана на прогнозах текущего 25-го солнечного цикла, сделанных в 2019 году Центром прогнозирования космической погоды SWPC NOAA. Эти прогнозы оказались заниженными. Из-за повышенной солнечной активности плотность атмосферы увеличилась в два-три раза, что привело к сокращению срока службы спутников **с трёх лет до девяти месяцев**. Спутники Capella оказались особенно уязвимы из-за своих больших развёртываемых параболических антенн РСА. Компания Capella предприняла ряд мер для решения этой проблемы: **разработаны более тяжелые КА модели «Акадия», зарезервированы запуски на более высокие орбиты, установлены более мощные ДУ для компенсации сил торможения**. Одно из вероятных последствий – смена собственника компании (IonQ, специализирующаяся на квантовых вычислениях).

Анализ орбитальных группировок КС РЛН показал, что высокая солнечная активность привела к сокращению численности группировок РЛН компаний **Umbra Space** (также легкие КА с крупногабаритными параболическими антеннами) и **ICEYE** (микроспутники с плоскими антеннами типа ФАР). **Урок – необходимо создание резерва по тяге ДУ и высоте орбиты.**

https://www.researchgate.net/publication/380292148_Doing_Battle_with_the_Sun_Lessons_From_LEO_and_Operating_a_Satellite_Constellation_in_the_Elevated_Atmospheric_Drag_Environment_of_Solar_Cycle_25

Выводы, проблемы и уроки

1. КС РЛН – **обязательный компонент космической инфраструктуры развитых стран,** который должен включать **десятки КА РЛН**. Обобщенная структура ОГ РЛН: >50% - **коммерческие КА** (самые динамичные и высокотехнологичные структуры), 30-35% - военные и 2-ного назначения, около 15% - гражданские.

2. В странах «Большой четверки» (Европа, Китай, США и Япония) реализуются **3 модели развития коммерческой индустрии РЛН**: - один главный оператор, - 2 ведущих оператора-конкурента, - много операторов и центров развития технологий РЛН.

3. За **неполный 2026 год** уже запущено **рекордное число КА РЛН – 64** спутника 12 стран, причем 86% новых КА принадлежат коммерческим операторам, в основном из Китая, Европы, Японии и США. Расширили свои группировки новые страны-операторы КС РЛН Польша, Португалия и ОАЭ (путем закупки КА Iceye).

4. Рост числа запусков малоразмерных коммерческих КА РЛН продолжится в ближайшие годы. Операторами КС РЛН являются 20+ стран (оптических систем ДЗЗ – более 60 стран), поэтому существуют перспективы выхода на зарубежные рынки.

5. Мировой рынок данных РЛН по прогнозам будет расти со среднегодовым приростом 10-13% CAGR в ближайшие 7-10 лет. Важнейшие факторы высокого спроса и роста рынка: **высокая геополитическая напряженность, вооруженные конфликты и войны**, необходимость постоянного мониторинга окружающей среды и реагирования на ЧС, **более доступные и экономически выгодные продукты и сервисы** операторов коммерческих КС РЛН как для оборонного, так и для коммерческого использования.

6. Общими чертами финансовых моделей космических стартапов в области РЛН в ведущих странах (Китай, США, Европа и Япония) являются **государственная регуляторная и финансовая поддержка** (через различные институты и инструменты), развитый внутренний инвестиционный рынок и ориентация на потребности национальных и зарубежных потребителей.

7. Важнейшим фактором последних лет является приоритетная ориентация на **задачи оборонных и силовых структур**. Космические системы РЛН играют решающую роль при мониторинге обстановки в стратегических и тактических звеньях управления, так же как и в воздушной и морской сферах противоборства.

8. Технические характеристики коммерческих КС РЛН доводятся до требований оборонных заказчиков, в результате коммерческие КС РЛН становятся составными элементами **национальной военной информационной инфраструктуры**.

Список литературы

Электронные ресурсы

1. Селин В.А., Кучейко А.А., Маносьева Е.А., Светличная Е.В., Козлова Д.С., Шарапова В.Р. Основные направления развития аппаратуры и технологий ДЗЗ из космоса на основе анализа запусков КА ДЗЗ в мире // Материалы 21-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2023. С. 136. DOI 10.21046/21DZZconf-2023a http://conf.rse.geosmis.ru/files/books/2023/10055.htm
2. Кучейко А.А., Тушавина О.В., Зайцев С.Э., Костюк Е.А. Состояние и перспективы развития орбитальных группировок малогабаритных КА с радиолокаторами с синтезированной апертурой зарубежных коммерческих операторов. Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2022. Т. 9. № 4. С. 3-8. https://spacedevice.ru/nomera-zhurnala/tom-9-vypusk-4-2022/acg7c0o1ovlq0k638i7qk4c9 .
3. Gunter’s Space page [Электронный ресурс] https://www.eoportal.org/.
4. eoPortal [Электронный ресурс] https://www.eoportal.org/.