

ПОСТРОЕНИЕ РАДИОЛОКАТОРОВ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ: ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ

CONSTRUCTION OF RADARS WITH SYNTHETIC APERTURE ANTENNAS FOR SPACE-BASED EARTH REMOTE SENSING SYSTEMS: DOMESTIC EXPERIENCE

С. В. ПАВЛОВ

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия;
АО «НПП «Пульсар», Москва, Россия

S. V. Pavlov

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia;
JSC "Scientific Production Enterprise "Pulsar", Moscow, Russia

Аннотация. Представлен обзор состояния и перспектив развития отечественных систем радиолокационного зондирования Земли космического базирования. Рассмотрены действующие («Кондор-ФКА») и перспективные («Обзор-Р») космические аппараты, их тактико-технические характеристики. Особое внимание уделено анализу архитектуры бортовой аппаратуры, в частности, применению технологий активных фазированных антенных решеток.

Ключевые слова: радиолокаторы с синтезированной апертурой, дистанционное зондирование Земли, антенны космического аппарата, активные фазированные антенные решетки, синтезированная апертура.

Для цитирования: Павлов С. В. Построение радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны для систем дистанционного зондирования Земли космического базирования: отечественный опыт // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2026. Т. 210. № 1. С. 21–28.

Annotation. The article presents an overview of the status and development prospects of domestic space-based radar systems for Earth observation. It reviews operational («Kondor-FKA») and prospective («Obzor-R») spacecraft, along with their technical and tactical characteristics. Particular attention is paid to the analysis of onboard equipment architecture, specifically the use of active electronically scanned array technology.

Key words: synthetic aperture radar, Earth remote sensing, spacecraft antennas, active phased array antennas, synthetic aperture.

For citation: Pavlov S. V. Construction of radars with synthetic aperture antennas for space-based Earth remote sensing systems: domestic experience // Electromechanical matters. VNIEM studies. 2026. Vol. 210. № 1. P. 21–28.

Введение

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) в широком смысле – это получение любыми неконтактными методами информации о поверхности Земли, объектах на ней или в ее недрах. Физический смысл ДЗЗ заключается в измерении характеристик электромагнитного поля с летательного аппарата.

Для ДЗЗ из космоса используют радиолокатор с синтезированной апертурой (РСА) антенны. История ДЗЗ в радиодиапазоне частот из космоса в Советском Союзе началась с запуска космического аппарата (КА) «Космос-1870» с системой РСА «Меч-К» на борту в 1987 г.

Развитие систем ДЗЗ из космоса с использованием технологии искусственного синтеза апертуры антенны продолжается и в наше время. К таким системам относятся системы РСА КА серий «Кондор» и «Кондор-ФКА», РСА «Северянин-М» КА серии «Метеор-М», перспективные РСА «Касатка-Р» КА «Обзор-Р» и РСА КА серии «Смотр».

Радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны «Меч»

Первой системой ДЗЗ в радиодиапазоне является американская система «Сисат» (*Seasat*), выве-

денная на орбиту вокруг Земли 27 июня 1978 г. *Seasat* – это экспериментальный американский спутник океанографического наблюдения. Разработки данной системы велись с 1976 г.

В конце 1970-х гг. в Советском Союзе велась подготовка к запуску орбитальной пилотируемой станции «Алмаз» (рис. 1), имеющей в своем составе РСА «Меч-А».



Рис. 1. Орбитальная станция «Алмаз» с радиолокатором с синтезированной апертурой «Меч-А»

Разработчики системы РСА «Меч-А» опирались на научные исследования и инженерные решения, использованные ранее в проектах авиационного радиолокатора «Кортик» и бортового радиолокатора бокового обзора «Чайка», установленного на КА серии «УС-А». Основной задачей новой системы было обеспечение эффективного дистанционного наблюдения с орбиты, способного охватывать значительные территории и давать чёткое изображение местности, независимо от погоды и времени суток.

Главной технической новинкой стала складывающаяся антенна S-диапазона – волноводная антенная решётка размером 15 × 1,5 метра. Она состояла из трёх сегментов, закрытых специальными теплоизоляционными покрытиями, предотвращающими воздействие экстремальных температур космоса. Благодаря повороту орбитальной станции по курсу движения цель могла регистрироваться на дистанции до 100 км как справа, так и слева от линии полёта.

Планировалось, что полученные радиолокационные изображения будут сохраняться на 80-миллиметровой плёнке, закладываемой в специальные контейнеры, и примерно каждые три месяца плёнки будут транспортироваться на Землю для последующей расшифровки и визуализации радиолокационных данных.

Также предполагалось, что члены экипажа космической станции «Алмаз» будут задействованы в обслуживании системы РСА: они должны были осуществлять перезагрузку кассет с фотопленкой, помещать их в специальную капсулу и следить за исправностью бортовых приборов.

Радиолокатор «Меч-А» был готов пройти комплексные электрические испытания совместно с пилотируемой орбитальной станцией «Алмаз», однако программа пилотируемых полетов на станцию была отменена в 1978 г. [1].

Таким образом, разработка «Меч-А» открыла новую страницу в применении радиолокационных технологий на борту советских космических кораблей, заложила основы будущих успешных миссий. Нарботки, полученные в процессе проектирования, использовались в последующих системах РСА, таких как «Меч-К», «Меч-КУ» и «Меч-КМ».

На смену РСА «Меч-А» приходит её модернизированная версия «Меч-К». Она становится полностью автоматической и не требует участия человека в обслуживании. Полученные радиоголограммы записывались на видеоманитофон и передавались на наземный пункт по радиоканалу, где производился синтез изображения. Разрешающая способность системы РСА – 25 – 30 м.

Испытания модернизированной системы РСА «Меч-К» планировались на орбитальной станции «Алмаз-Т», однако её запуск не состоялся. Летные испытания РСА «Меч-К» удалось провести на КА «Космос-1870» лишь в 1987 – 1989 гг. [2].

Во время эксплуатации данной системы были оценены потенциальные возможности систем РСА, а также был накоплен экспериментальный опыт, отработаны методы решения задач наблюдения за разливами нефти и мониторинга ледового покрова и методов обработки радиолокационных изображений. Аппарат обеспечивал получение радиолокационных снимков с разрешением 30 м.

Система «Меч-К» была модернизирована и названа «Меч-КУ». Ее запуск произошел 31 марта 1991 г. [3].

РСА «Меч-КУ» КА «Космос-1870» является первым отечественным РСА космического базирования с цифровым синтезированием апертуры антенны, так как на выходе антенны была реализована цифровая обработка сигнала. Для реализации цифровой обработки полученных данных был разработан многопроцессорный вычислительный комплекс «ПС-2000». Так, была достигнута разрешающая способность радиоголограмм – 10 – 15 м.

Установленная на КА «Алмаз-1В» РСА «Меч-КМ» включала две волноводные антенные решетки размером 1,5 × 15 метров, формирующие два отдельных луча, и имела характеристики [4]:

- рабочая частота – 3 ГГц;
- разрешающая способность – 15 м;
- поляризационная конфигурация – линейная горизонтальная;
- мощность излучения – 190 Вт (импульсная), 80 Вт (средняя);
- длительность зондирующих импульсов – 0,07 и 0,1 мс;
- частота повторения импульсов – 3 кГц;
- ширина луча РСА на местности – 30 км;
- ширина полосы захвата – 350 км.

Кроме того, на КА «Алмаз-1В» была размещена резервная РСА, аналогичная использовавшейся на предшествующем спутнике «Космос-1870». Запуск КА не состоялся из-за политических и экономических трудностей, возникших в конце 1980 – 90-х гг.

Нарботки, полученные при проектировании систем РСА серии «Меч», использовались в дальнейшем при работе над созданием системы РСА КА серии «Кондор».

В табл. 1 приведены сведения об РСА серии «Меч».

Таблица 1

Сведения о радиолокаторе с синтезированной апертурой серии «Меч»

Космический аппарат	Радиолокатор с синтезированной апертурой	Статус запуска
Орбитальная станция «Алмаз»	«Меч-А»	Не состоялся
Орбитальная станция «Алмаз-Т»	«Меч-К»	Не состоялся
Космос-1870	«Меч-К»	1987 г.
Алмаз-1	«Меч-КУ»	Март 1991 г.
Алмаз-1В	«Меч-КМ», «Меч-К»	Не состоялся

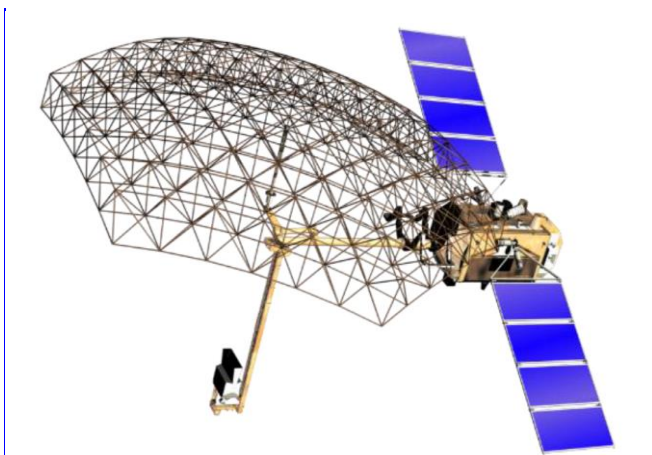


Рис. 2. Внешний вид космического аппарата «Кондор-Э» с раскрытой антенной радиолокатора с синтезированной апертурой

Серия спутников «Кондор»

«Кондор» – серия малых спутников ДЗЗ. Разработка данной серии велась в «НПО машиностроения» и предназначались для воздушно-космических сил Российской Федерации и иностранных заказчиков. Существует две разновидности аппаратов: «Кондор» и «Кондор-Э». КА с шифром «Кондор» используются Россией. Для экспортных вариантов используется шифр «Кондор-Э». На рис. 2 приведен внешний вид КА семейства «Кондор».

Система РСА, размещённая на борту КА «Кондор», служит для создания высокоточных изображений, применяемых в целях слежения за состоянием суши и водных поверхностей, экологического надзора и рационального распределения природных богатств. Данная космическая система, построенная на платформе малых спутников, предоставляет широкие возможности: составление географических карт, исследование и управление природными ресурсами, проведение научных изысканий в морских зонах, оценка экологической обстановки, предоставление оперативной информации в кризисных ситуациях.

Характеристики РСА КА «Кондор» приведены в табл. 2 [5].

Таблица 2

Характеристики радиолокатора с синтезированной апертурой космического аппарата «Кондор»

Характеристика	Значение
Частотный диапазон	X, C, S, L^*
Ширина полосы обзора, км	$2 \times 500^{**}$
Ширина полосы захвата, км	≥ 10
Разрешение, м	$\geq 1,0$

* – один по требованию заказчика;

** – справа и слева от трассы полета.

Антенная система РСА КА «Кондор» позволяет отклонять ось визирования РСА на угол до $\pm 55^\circ$ от надира путем механического изменения положения антенны и электронного сканирования. Радиотехническая составляющая системы представлена лёгкой гибридной зеркальной антенной (ГЗА) с диаметром рефлектора 6 метров и эффективной площадью 28 квадратных метров. Её ключевым элементом является поворотный многорупорный линейный облучатель, выполняющий роль антенной решётки. Вся антенная система установлена на передней части унифицированной космической платформы посредством четырёх опорных точек крепления [6, 7].

С целью решения широкого спектра пользовательских задач в РСА реализованы следующие режимы работы:

1. Детальный прожекторный.
2. Детальный непрерывный.
3. Обзорный.

В КА семейства «Кондор» управление положением полосы съёмки и характеристик сигнала осуществляется цифровым способом. Также система оптимальным образом регулирует потребление электроэнергии в зависимости от последовательности операций съёмки. Многорупорная линейная антенная решетка, расположенная горизонтально, обеспечивает работу с горизонтальной поляризацией (при передаче и приёме сигналов), допуская электронную регулировку положения луча в пределах $\pm 2^\circ$ по азимуту для работы в детальном прожекторном режиме. Когда антенная решетка поворачивается вертикально, происходит изменение рабочей поляризации с горизонтальной на вертикальную (при передаче и приёме), появляется возможность дополнительного электронного регулирования по углу места для оперативного переориентирования полосы съёмки, а также для работы в обзорном режиме [8].

В 2010-х гг. стояла задача создания космической группировки КА радиолокационного оперативного всепогодного круглосуточного наблюдения Земли на базе КА типа «Кондор» с радиолокатором S-диапазона («Кондор-ФКА»). При разработке КА «Кондор-ФКА» использовался опыт, накопленный при проектировании КА серии «Кондор» [9].

Конструкция спутника «Кондор-ФКА» в рабочем состоянии напоминает конструкцию КА «Кондор». В системе РСА используется ГЗА диаметром шесть метров, работающая в S-диапазоне на частотах 3,1 – 3,3 ГГц. При этом ее масса составляет всего 60 кг. Элементная база КА почти на 100% сделана в России [10].

Ряд тактических параметров КА «Кондор-ФКА» лучше, чем у его прототипа – КА «Кондор». Во все режимы работы включены интерферометрическая и дифференциальная интерферометрическая съемки, что позволило расширить штатные режимы работы.

В табл. 3 представлена информация о запусках КА серий «Кондор» и «Кондор-ФКА».

Радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны «Северянин-М»

КА «Метеор-М» № 1 (рис. 3) имеет в своем составе систему РСА «Северянин-М». Данная РСА разработана в АО «НИИ ТП». Запуск КА «Метеор-М» с системой РСА на околокруговую солнечно-синхронную орбиту осуществлен в 2009 г. и служит для мониторинга ледовой обстановки и снегового покрова.

Электропитание КА осуществляется от солнечных батарей. Срок активного существования КА составляет 5 лет.

Радиолокационная съемка может производиться в двух режимах: с низким либо средним уровнем детализации, ориентированным на использование вертикальной поляризации при передаче и приёме сигналов. В составе РСА «Северянин-М» задействована волноводно-щелевая антенна X -диапазона размером $13,4 \times 0,25$ метра, работающая исключительно с вертикально-поляризованными волнами.

Выбор данной технологии обусловлен наличием ранее разработанного научного задела, полученного при создании аналогичного устройства «Меч-КМ», изначально предназначенного для установки на КА «Алмаз-1В» [11].

В табл. 4 приведена информация о запусках КА с РСА «Северянин-М».

Радары с синтезированной апертурой антенны на борту Международной космической станции

На протяжении последних 15 лет широко обсуждается концепция разработки космического радара P -диапазона. Среди наиболее значимых и передовых проектов, использующих радары данной полосы частот, выделяется программа «Биомасса» (*Biomass*), поддержанная Европейским космическим агентством и запущенная в апреле 2025 г. Эта система предназначена для наблюдения за лесными территориями. В Российской Федерации также ведется работа над созданием аналогичного устройства [12], предусматривающего размещение радара P -диапазона на борту Международной космической станции (МКС) [13].

На российском сегменте МКС проведен эксперимент с использованием РСА под шифром «Напор-мини РСА», описанный в статье [14]. Эксперимент под шифром «МКС РСА (P)» отменен в 2022 году.



Рис. 3. Радиолокатор с синтезированной апертурой на космическом аппарате «Метеор-М» № 1

Таблица 3

Запуски космических аппаратов серий «Кондор» и «Кондор-ФКА»

Космический аппарат	Дата запуска
«Кондор» № 1	27 июня 2013 г.
«Кондор-ФКА» № 1	27 мая 2023 г.
«Кондор-ФКА» № 2	30 ноября 2024 г.
«Кондор-ФКА» № 3	Запуск планируется на 2026 г.

Таблица 4

Запуски космических аппаратов с радиолокатором с синтезированной апертурой «Северянин-М»

Космический аппарат	Дата запуска
«Метеор-М» № 1	17 сентября 2009 г.
«Метеор-М» № 2	8 июля 2014 г.

«Напор-мини РСА» выполняет экспериментальную отработку в условиях космического пространства работы малогабаритного РСА в S -диапазоне на основе микрополосковой активной фазированной антенной решетки (АФАР) в интересах решения задач природопользования, экологического контроля и мониторинга чрезвычайных ситуаций. Радар доставили на борт МКС в феврале 2023 г.

25 октября 2023 г. после монтажа научной аппаратуры было зафиксировано неполное раскрытие панелей «Напор-мини РСА», которое было устранено 25 апреля 2024 г.

На внешней поверхности российского модуля «Наука» располагается отечественный компактный РСА на основе микрополосковых АФАР S -диапазона. Это первый радиолокатор такого типа для космической сферы России. Характеристики системы не уступают существующим зарубежным аналогам, таким как «Радарсат» (*Radarsat*) [15].

Сообщается, что антенна оснащена цифровым формированием диаграммы направленности. На рис. 4 приведен проект установки АФАР на МКС.

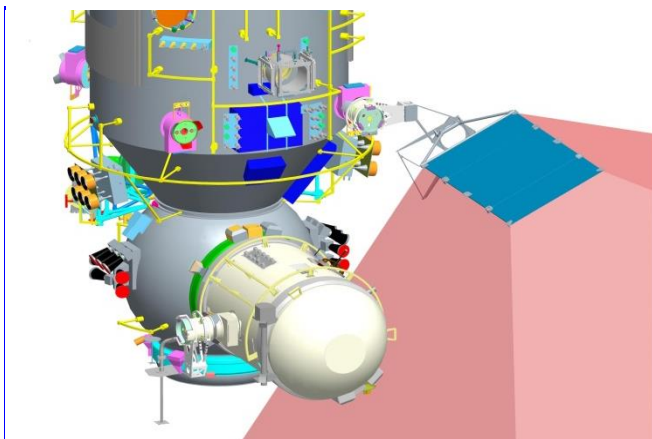


Рис. 4. Проект установки активной фазированной антенной решетки на Международной космической станции

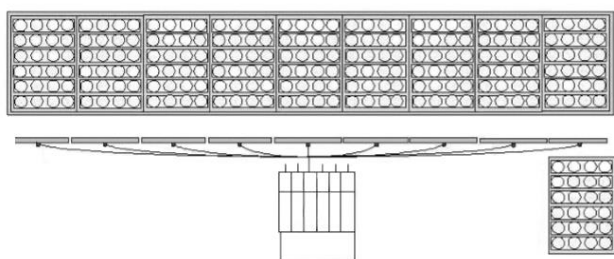


Рис. 5. Эскиз предлагаемой антенной решетки радиолокатора с синтезированной апертурой Р-диапазона для Международной космической станции

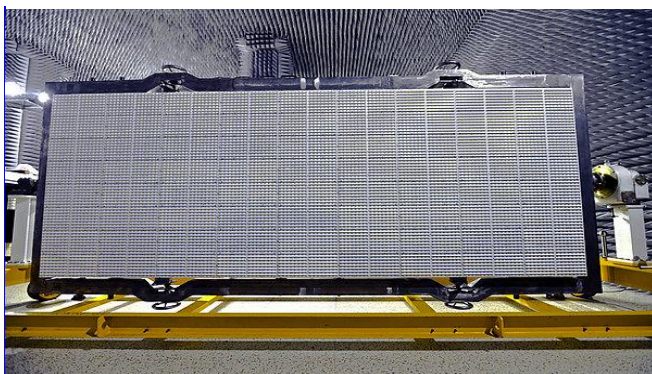


Рис. 6. Антенна радиолокатора с синтезированной апертурой «Касатка-Р»

«МКС РСА (Р)» – это отработка методов ДЗЗ в P -диапазоне при помощи поляриметрической радиолокационной станции бокового обзора с синтезированной апертурой в диапазоне длинных дециметровых волн (длина волны около 70 см). Цель эксперимента заключается в изучении потенциала применения данных измерений обратного рассеяния сигналов от отдельных и распределённых объектов на земной поверхности в P -диапазоне частот. В рамках исследования будут разработаны методы тематического анализа информации, полученной с помо-

щью радаров данного диапазона, предназначенные для оценки характеристик морских поверхностей (например, высоты волн, слоистой структуры воды и уровня солёности) и наземных покрытий (таких как отражение сигнала от хвойных, лиственных и смешанных лесов, определение возможности измерения лесной биомассы).

На международных конференциях по радиолокации и ДЗЗ обсуждался вопрос о разработке РСА космического базирования в P -диапазоне. Основные трудности при создании космической РСА P -диапазона заключаются в учете воздействия ионосферных явлений и сложности проектирования антенн. Исследования зарубежных ученых подтверждают необходимость значительных размеров антенны порядка 30×3 метра для полноценного функционирования такой РСА [16]. Эскиз предлагаемой антенны приведен на рис. 5.

Характеристики предлагаемой в [16] РСА P -диапазона на МКС:

- ширина диаграммы направленности в вертикальной плоскости на уровне -3 дБ составляет вдоль линии полета центральный угол визирования 12° ;
- полоса обзора с высоты ($H = 450$ км) составляет 70 км;
- разрешающая способность по наклонной дальности на поверхности – 120 м;
- частота повторения зондирующих импульсов – 4 КГц;
- используется сигнал с линейной частотной модуляцией с длительностью 30 мкс;
- пиковая мощность – 40 Вт (средняя мощность излучения – 5 Вт);
- чувствительность радара в виде удельной эффективной площади рассеивания составляет – 22 дБ.

Проведение эксперимента выведено из программы исследований на борту МКС. Одной из причин называли – отсутствие надёжных методик по компенсации влияния ионосферы Земли на качество радиолокационных изображений.

Радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны «Касатка-Р»

В России с 2009 года ведутся работы по созданию системы РСА космического базирования с цифровой АФАР «Касатка-Р» [17].

Антенная система РСА «Касатка-Р» включает 18 активных модулей, каждый из которых способен работать независимо друг от друга. Данная конструкция оснащена технологией цифрового формирования луча, что обеспечивает создание высокодетализированных изображений с увеличенным разрешением [18]. АФАР X -диапазона системы РСА «Касатка-Р» представлена на рис. 6.

Характеристики РСА «Касатка-Р» представлены в табл. 5.

Радиолокационный комплекс «Касатка-Р» предназначен для многорежимного ДЗЗ в режимах поляриметрической и интерферометрической съемки [19].

Радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны космических аппаратов серии «Смотр»

Проект «Смотр-SP» предполагает разработку двухдиапазонного космического РСА, функционирующего в диапазонах *S*- и *P*-радиочастот. Основное назначение такого РСА заключается в региональном мониторинге земельных участков и отслеживании изменений на территориях. Важной особенностью проекта является способность сигналов *P*-диапазона проникать сквозь поверхность лесных массивов, обеспечивая подповерхностное зондирование.

Конструкция предусматривает применение АФАР с крупным зеркалом-рефлектором размером около 10 × 5 метров, оснащенного комбинированным двухчастотным излучающим устройством. Использование АФАР с большим зеркальным отражателем облегчает реализацию поляриметрического режима, позволяя эффективно управлять диаграммой направленности на прием и передачу, повышая таким образом точность измерений и эффективность проведения мониторинга.

«Смотр-Р» – разрабатываемый спутник ДЗЗ с РСА, позволяющей решать широкий спектр производственных и экологических задач. КА «Смотр-Р» приведен на рис. 7.

Тип антенны системы РСА КА «Смотр-Р» – АФАР, работающая в *X*-диапазоне (9300 – 9900 МГц). Реализована возможность интерферометрической радиолокационной съемки с привязкой к геопространственным координатам [20].

В перспективе планируется создать орбитальную спутниковую группировку из шести КА «Смотр-Р».

Таблица 5

Характеристики радиолокатора с синтезированной апертурой «Касатка-Р»

Параметр	Значение
Диапазон частот/длина волны, см	$X/3$ см
Полоса захвата, км	15 – 700
Пространственное разрешение, м	От 0,5
Размер антенны, м	4 × 1,6
Тип антенны	Цифровая АФАР

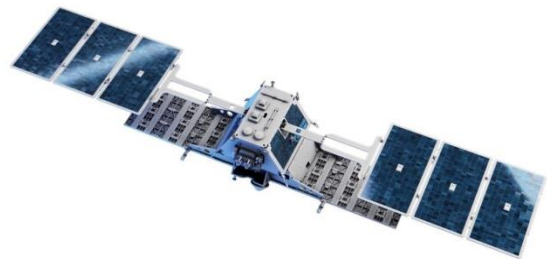


Рис. 7. Космический аппарат «Смотр-Р»

Заключение

Развитие систем РСА, начатое в Советском Союзе, продолжается и в наше время. В последние годы темп разработок РСА вырос. В существующих и разрабатываемых системах рассматриваются различные типы антенн: ГЗА, щелевые АФАР, АФАР с печатными излучателями и другие [21]. В перспективе будут формироваться группировки КА с системами РСА с возможностью бистатического режима съемки [22].

Существует несколько разработок в основе которых планируется использовать цифровые АФАР. Антенны данного типа позволяют увеличить разрешающую способность систем РСА.

Развитие спутниковых группировок систем ДЗЗ позволит решать задачи в различных отраслях деятельности человека: сельское хозяйство, спасательные операции, военная разведка, разведка залежей полезных ископаемых, картография.

Список источников

1. Леонов А. Г. Радиолокационная станция (РЛС) разведки «Меч-А» [Электронный ресурс] // кроров : [сайт]. 2025. URL : <https://www.krprov.ru/books/leonov.htm#ancor41> (дата обращения: 27.01.2025).
2. Новые технологии дистанционного зондирования Земли из космоса / В. В. Груздов [и др.]. М. : Техносфера, 2018. 482 с.
3. Коберниченко В. Г., Сосновский А. В. Космические радиолокационные системы с синтезированной апертурой антенны // Проблемы дистанционного зондирования, распространения и дифракции радиоволн : Конспекты лекций. Всероссийские открытые Армандовские чтения : молод. школа. Муром, 2022. С. 5–20.
4. Гарбук С. В., Гершинзон В. Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. М. : Издательство А и Б, 1997. 296 с. : ил.
5. Малый космический аппарат «Кондор-Э»: обзор характеристики [Электронный ресурс] // Вооружение.рф : [сайт]. 2025. URL : <https://вооружение.рф/armament/kondor-e/?ysclid=nhmup8f8n881391713> (дата обращения: 11.11.2025).
6. Зайцев С. Э. Космический аппарат – носитель РСА «Кондор-Э» как основа радиолокационной космической системы «Кондор-ФКА» // Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред материалы : VI Всероссийские Армандовские чтения : Муром, 31 мая – 05 июня 2016 года. Муром : Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых», 2016. С. 424–431.

7. Condor-E spacecraft with a synthetic aperture antenna and its capabilities / M. Babokin [et al.] // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2017. Vol. 53. Pp. 1205–1215. DOI : 10.1134/S0001433817090043.
8. Некоторые результаты испытаний космического аппарата «Кондор-Э» с РСА как основы новой радиолокационной космической системы / А. В. Ефимов [и др.] // *Радиотехнические и телекоммуникационные системы*. 2016. № 3(23). С. 24–36.
9. Обзор современного состояния орбитальных группировок космических аппаратов дистанционного зондирования Земли и космических ретрансляторов / Д. Г. Пантенков [и др.] // *Известия высших учебных заведений. Электроника*. 2022. Т. 27. № 1. С. 120–149. DOI : 10.24151/1561-5405-2022-27-1-120-149.
10. Какие российские радиолокаторы используются на борту новых спутников Кондор-ФКА [Электронный ресурс] // *ТЕХНОСФЕРА Россия* : [сайт]. 01.12.2024. URL : <https://tehnoosk.ru/archives/15311> (дата обращения: 06.02.2025).
11. Радиолокационный комплекс космического базирования «Северянин-М» [Электронный ресурс] // АО «НИИ ТП» : [сайт]. 2025. URL : <https://niitp.ru/produksiya/napravleniya/radiolokatsionnyu-monitoring-zemli/radiolokatsionnyu-kompleks-kosmicheskogo-bazirovaniya-severyanin-m> (дата обращения: 17.02.2025).
12. Space experiment on the International Space Station with P-band SAR [Электронный ресурс] / В. Kutuza [et al.] // 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR 2014), Berlin, Germany, 3–5 June 2014. VDE VERLAG GMBH, Berlin, Offenbach, Germany. IEEE, 2014. URL : http://cplire.ru:8080/3238/1/EUSAR2014-Kutuza_et_al.pdf?ysclid=mholimux4t135222308 (дата обращения: 21.02.2025).
13. Перспективы применения космического радиолокатора с синтезированной апертурой *P*-диапазона в комплексе с радиолокатором с синтезированной апертурой *L/S*-диапазонов / А. И. Захаров [и др.] // *Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского*. 2016. № 653. С. 180–184.
14. Космические эксперименты по исследованию Земли из космоса на Российском сегменте Международной космической станции / В. П. Саворский [и др.] // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2015. Т. 12. № 2. С. 9–19.
15. Новый российский радиолокатор с РСА испытают на отечественном сегменте МКС [Электронный ресурс] // *ТЕХНОСФЕРА Россия* : [сайт]. 22.03.2023. URL : <https://tehnoosk.ru/archives/8252> (дата обращения: 21.02.2025).
16. К вопросу проведения эксперимента по радиолокационному исследованию Земли в *P*-диапазоне с МКС / А. А. Калинин [и др.] // *Космическая радиолокация: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции : III Всероссийские Армандовские чтения, Муром, 25–27 июня 2013 года*. Муром : Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых», 2013. С. 25–31.
17. Глава РКЦ «Прогресс»: ракеты-носители «Союз» остаются самыми надежными в мире [Электронный ресурс] // Госкорпорации «Роскосмос» : [сайт]. 24.10.2024. URL : <https://www.roscosmos.ru/40992/> (дата обращения: 12.02.2025).
18. РКС. В России продолжается создание космического радиолокатора нового поколения // Госкорпорация «Роскосмос» : [сайт]. 21.07.2017. URL : <https://www.roscosmos.ru/23820/> (дата обращения: 03.03.2025).
19. АО «Российские космические системы», Пресс-служба. РКС завершают испытания радиолокатора «Касатка-Р» для перспективного космического комплекса «Обзор-Р» [Электронный ресурс] // АО «НИИ ТП» : [сайт]. 9 февраля 2022. URL : <https://niitp.ru/press-tsentr/novosti/rks-zavershayut-ispytaniya-radiolokatora-kasatka-r-dlya-perspektivnogo-kosmicheskogo-kompleksa-obzor> (дата обращения: 12.03.2025).
20. Космический аппарат СМОТР-Р [Электронный ресурс] // ООО «Газпром СПКА» : [сайт]. URL : <https://www.gazprom-spka.ru/ru/projects/apparaty-dzz/smotr-r/> (дата обращения: 21.03.2025).
21. Павлов С. В. Построение радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны для систем дистанционного зондирования Земли космического базирования: зарубежный опыт // *Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ*. 2025. Т. 208. № 5. С. 21–35.
22. Антенна передачи синхросигнала для реализации бистатического режима съемки радиолокаторов с синтезированной апертурой космического базирования / П. А. Шмачилин [и др.] // *Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы*. 2025. № 3 (278). С. 31–41.

References

1. Leonov A. G. Reconnaissance radar station «Mech-A» [Electronic resource] // kpopov: [website]. 2025. URL: <https://www.kpopov.ru/books/leonov.htm#ancor41> (data of access: 01.27.2025).
2. New technologies for remote sensing of the Earth from space / V. V. Gruzdov [et. al]. M. : TEXNOSFERA, 2019. 482 p.
3. Kobernichenko V. G., Sosnovsky A. V. Space-based radar systems with a synthetic aperture antenna // *Problems of remote sensing, propagation, and diffraction of radio waves* : Lecture notes. All-Russian Open Armand Readings : Young School. Murom, 2022. Pp. 5–20.
4. Garbuk S. V., Gershinzon V. E. Space systems of remote sensing of the Earth. Moscow: A i B Publishing House, 1997. 296 p.: ill.
5. Small spacecraft Kondor-E: overview of characteristics [Electronic resource] // *Armament* : [website]. 2025. URL : <https://вооружение.пф/armament/kondor-e/?ysclid=mhumup8f8n881391713> (date of access: 11.11.2025).
6. Zaitsev S. E. The Kondor-E SAR carrier spacecraft as the basis for the Kondor-FKA radar space system // *Radiophysical methods in remote sensing of environments materials: VI All-Russian Armandov readings: Murom, May 31 – June 5, 2016*.

- Murom Institute (Branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vladimir State University named after A. G. and N. G. Stoletov», 2016. Pp. 424–431.
7. Condor-E spacecraft with a synthetic aperture antenna and its capabilities. / M. Babokin [et al.] // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2017. Vol. 53. Pp. 1205–1215. DOI : 10.1134/S0001433817090043.
8. Some results of tests of the Kondor-E spacecraft with SAR as the basis of a new space radar system / A. V. Efimov [et al.] // *Radiotechnical and Telecommunication Systems*. 2016. No. 3(23). Pp. 24–36.
9. Review of the current state of orbital constellations of Earth remote sensing spacecraft and space repeaters / D. G. Pantenkov [et al.] // *News of higher educational institutions. Electronics*. 2022. Vol. 27. No. 1. Pp. 120–149. DOI : 10.24151/1561-5405-2022-27-1-120-149.
10. What Russian radars are used on board the new Condor-FKA satellites [Electronic resource] // *TEKHNOSPHERE Russia*: [website]. 01.12.2024. URL: <https://tehnoomsk.ru/archives/15311> (date of access: 06.02.2025).
11. Space-based radar complex «Severyanin-M» [Electronic resource] // JSC «НИИ ТР» : [website]. 2025. URL : <https://niitp.ru/produktsiya/napravleniya/radiolokatsionnyy-monitoring-zemli/radiolokatsionnyy-kompleks-kosmicheskogo-bazirovaniya-severyanin-m> (date of access : 17.02.2025).
12. Space experiment on the International Space Station with P-band SAR [Electronic resource] / B. Kutuza [et al.] // 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR 2014), Berlin, Germany, 3–5 June 2014. VDE VERLAG GMBH, Berlin, Offenbach, Germany. IEEE, 2014. URL : http://cplire.ru:8080/3238/1/EUSAR2014-Kutuza_et_al.pdf?ysclid=mholimux4t135222308 (дата обращения: 21.02.2025).
13. Prospects for the application of a space radar with a p-band synthetic aperture in combination with a radar with a L/S-band synthetic aperture / A. I. Zakharov [et al.] // *Proceedings of the A. F. Mozhaisky Military Space Academy*, 2016. No. 653. Pp. 180–184.
14. Space experiments to study the Earth from space on the Russian segment of the International Space Station / V. P. Savorsky [et al.] // *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2015. Vol. 12. No. 2. Pp. 9–19.
15. A new Russian radar with SAR will be tested on the domestic segment of the ISS [Electronic resource] // *TEKHNOSPHERE Russia*: [website]. 03.22.2023. URL: <https://tehnoomsk.ru/archives/8252> (date of access: 02.21.2025).
16. On the issue of conducting an experiment on radar research of the Earth in the P-band from the ISS / A. A. Kalinkevich [et al.] // *Space radar: Proceedings of the II All-Russian scientific and practical conference: III All-Russian Armandov readings, Murom, June 25–27, 2013. Murom Institute (Branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vladimir State University named after A. G. and N. G. Stoletov»*. 2013. Pp. 25–31.
17. Head of the Progress Rocket and Space Center: Soyuz launch vehicles remain the most reliable in the world [Electronic resource] // *Roscosmos State Corporation* : [website]. 10.24.2024. URL : <https://www.roscosmos.ru/40992/> (date of access: 02.12.2025).
18. RSS. The development of a new generation space radar continues in Russia // *State Corporation Roscosmos* : [website]. 21.07.2017. URL : <https://www.roscosmos.ru/23820/> (date of access: 03.03.2025).
19. JSC Russian Space Systems, Press Service. RSS Completes Testing of Kasatka-R Radar for Obzor-R Advanced Space Complex [Electronic Resource] // *JSC Research Institute of Space Technologies* : [website]. 02.09.2022. URL : <https://niitp.ru/press-tsentr/novosti/rks-zavershayut-ispityaniya-radiolokatora-kasatka-r-dlya-perspektivnogo-kosmicheskogo-kompleksa-obzor> (date of access: 12.03.2025).
20. Spacecraft SMOTR-R [Electronic resource] // *OOO «Gazprom SPKA»* : [website]. URL : <https://www.gazprom-spka.ru/projects/apparaty-dzz/smotr-r/> (date of access: 21.03.2025).
21. Pavlov S. V. Construction of synthetic antenna aperture radars for space-based earth remote sensing systems: foreign experience // *Electromechanical matters. VNIIEEM studies*. 2025. Vol. 208. № 5. Pp. 21–35.
22. Antenna for transmission Sync signal to implementing a bistatic imaging mode of space-based synthetic aperture radars/ P. A. Shmachilin [et al.] // *Electronic engineering. Series 2. Semiconductor devices*. 2025. Iss. 3 (274). Pp. 31–41.

Поступила в редакцию 26.08.2025

The article was submitted 26.08.2025

Информация об авторе

Степан Владимирович Павлов – аспирант, инженер 3 категории, т. +7 (937) 389-69-21, e-mail: pav00.00@mail.ru.

Information about the author

Stepan Vladimirovich Pavlov – Graduate Student, Engineer of the 3rd category, t. +7 (937) 389-69-21, e-mail: pav00.00@mail.ru.