УДК 528.88:528.443
DOI:10.30533/scidata-2023-14-04

Перспективы использования радиолокационных спутников в мониторинговой и кадастровой деятельности

С.С. Новиков[1] ✉, П.Е. Новикова[1]

АФФИЛИАЦИИ

[1] Научный центр оперативного мониторинга Земли АО «Российские космические системы», Москва, Россия

✉ s.novikov92@inbox.ru

ЦИТИРОВАНИЕ

Новиков С.С., Новикова П.Е. Перспективы использования радиолокационных спутников в мониторинговой и кадастровой деятельности // Пространственные данные: наука и технологии. 2023. Т. 14. №1. С. 49–64. DOI:10.30533/scidata-2023-14-04.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Канопус-В, Кондор, Кондор-ФКА, космическая съемка, дистанционное зондирование Земли, радиолокационная съемка, влияние облачности, Iceye, Sequoia

АННОТАЦИЯ

С 2015 года в российской космической группировке отсутствовали космические аппараты (КА), способные вести радиолокационную съемку. После вывода из эксплуатации предыдущего спутника, оснащенного таким съемочным оборудованием, замена создавалась длительное время. Данный тип съемочного оборудования значительно отличается от привычного оптико-электронного. Несмотря на ряд преимуществ, данные КА имеют некоторые недостатки. В статье рассмотрены различия между способами получения пространственных данных, в том числе обусловленные установкой съемочного оборудования. Исследовано влияние погодных условий на получаемые снимки местности, для чего было проанализировано 2304 снимка на 17 контрольных участках в разных частях РФ. Оценена возможность использования снимков с радиолокационных КА для применения в кадастровой деятельности на основе требований к точности и методам

определения координат характерных точек [значения точности (средней квадратической погрешности) определения координат характерных точек границ земельных участков], сформулированных в приложении 1 к Приказу Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии от 23 октября 2020 г. № П/0393, и при реализации федеральных проектов на примере программы развития Северного морского пути.

1 Введение

В течение длительного времени в российской орбитальной группировке отсутствовал такой источник данных, как космический аппарат (КА), производящий радиолокационную съемку, однако этот инструмент может быть применен для решения различных задач благодаря возможности работы в ночное время и зимний период независимо от облачности.

Цель данной работы — рассмотреть перспективы применения снимков с КА, оснащенных радиолокационным съемочным оборудованием, для применения в кадастровой деятельности и реализации различных федеральных программ.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- изучить статистику работы КА с оптико-электронной съемочной аппаратурой;
- проанализировать и понять, для какой местности снимки с КА с радиолокационным съемочным оборудованием будут наиболее полезными;
- изучить опыт эксплуатации иностранных группировок с радиолокационной съемочной аппаратурой;
- оценить, в каких аспектах федеральных национальных проектов снимки будут наиболее применимы.

Исследование перспектив использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с радиолокационных спутников крайне актуально ввиду вывода на орбиту 27 мая 2023 г. радиолокационного спутника российской группировки «Кондор-ФКА» №1.

2 Материалы и методы

В исследовании были использованы материалы, полученные как с российских, так и с иностранных космических группировок от аппаратов с различными типами съемочной аппаратуры. В ходе экспериментов было проведено сравнение полученных материалов и определена возможность их использования в кадастровой деятельности. Одновременно с этим выполнена аналитическая работа по изучению нормативно-правовой документации.

2.1 Условия и факторы, влияющие на данные, получаемые с КА

Во-первых, следует проанализировать требования к значениям точности, которые предъявляются к данным ДЗЗ, полученным фотограмметрическим «методом определения координат характерных точек» границ земельных участков. В исследовании рассматривается ряд категорий земель, для которых в настоящее время требование к точности съемки с КА однозначно не позволяет достигнуть средней квадратической погрешности (СКП), необходимой для наиболее ценных земельных участков. Следует отметить, что даже лучшие образцы западных радиолокационных спутников высокого разрешения не дадут возможности получить проекцию пикселя на местности лучше 0,5 м, что, в свою очередь, сужает перспективы использования. Однако земли лесного, водного фонда и земли запаса составляют почти 70 % территории РФ, а требования к проекции пикселя для данной категории земель составляет 0,6 м, что позволяет основательно рассмотреть перспективы использования полученной продукции. Статистика представлена на **Рисунке 1**.

Материалы, полученные со спутников, более привлекательны для потребителя с экономической точки зрения по сравнению с прочими методами получения данных (**Табл. 1**). В настоящее время сложно определить стоимость данных ДЗЗ, полученных с радиолокационных спутников российской группировки, однако можно отметить, что спутниковая информация — зачастую один из наиболее дешевых источников данных ДЗЗ.

Рис. 1 Соотношение видов земельных участков в РФ.

Fig. 1 Test areas on the territory of the Russian Federation.

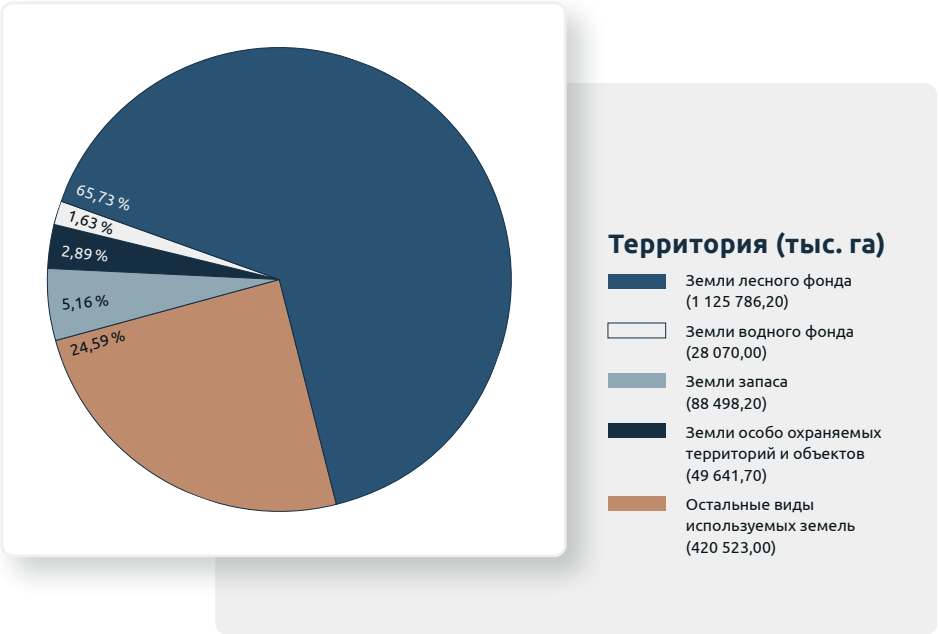


Таблица 1 Сравнение стоимости данных ДЗЗ, полученных из различных источников.

Table 1 Cost of remote sensing data from different sources.

Вид данных	Стоимость
Квадратный километр архивной съемки с аппаратов типа «Канопус-В» в панхроматическом режиме через Геопортал Госкорпорации «Роскосмос»	Около 30 руб.
1 км^2 архивной съемки с аппаратов типа «Ресурс-П» в панхроматическом режиме через Геопортал Госкорпорации «Роскосмос»	Около 100 руб.
Съемки территорий с помощью беспилотного летательного аппарата за 1 км^2 в масштабе 1 : 10 000 с проекцией пикселя на местности в 25 см	В среднем 20 тыс. руб. + затраты на логистику
Аэрофотосъемка с использованием самолета за летный час и услуги пилота; без камеральных работ	От 35 тыс. руб.

В рамках исследования приведена статистика по 2304 снимкам на 17 тестовых участках по территории РФ, полученных с КА типов «Канопус-В» и «Ресурс-П» за 12,5 лет с 01.01.2010 по 22.06.2022 (**Рис. 2**).

Сравнив процент облачности, можно отметить, что практически на 1/2 космических снимков облачность составляет менее 30 % для каждого, а доля снимков, непригодных для дальнейшего использования составляет, 1/4 от их общего числа.

Все снимки контрольных участков можно условно отнести к трем регионам. Данные ДЗЗ, полученные в северных широтах, непригодны для обработки — каждый третий снимок выше 65-й параллели из-за высокого процента облачности,

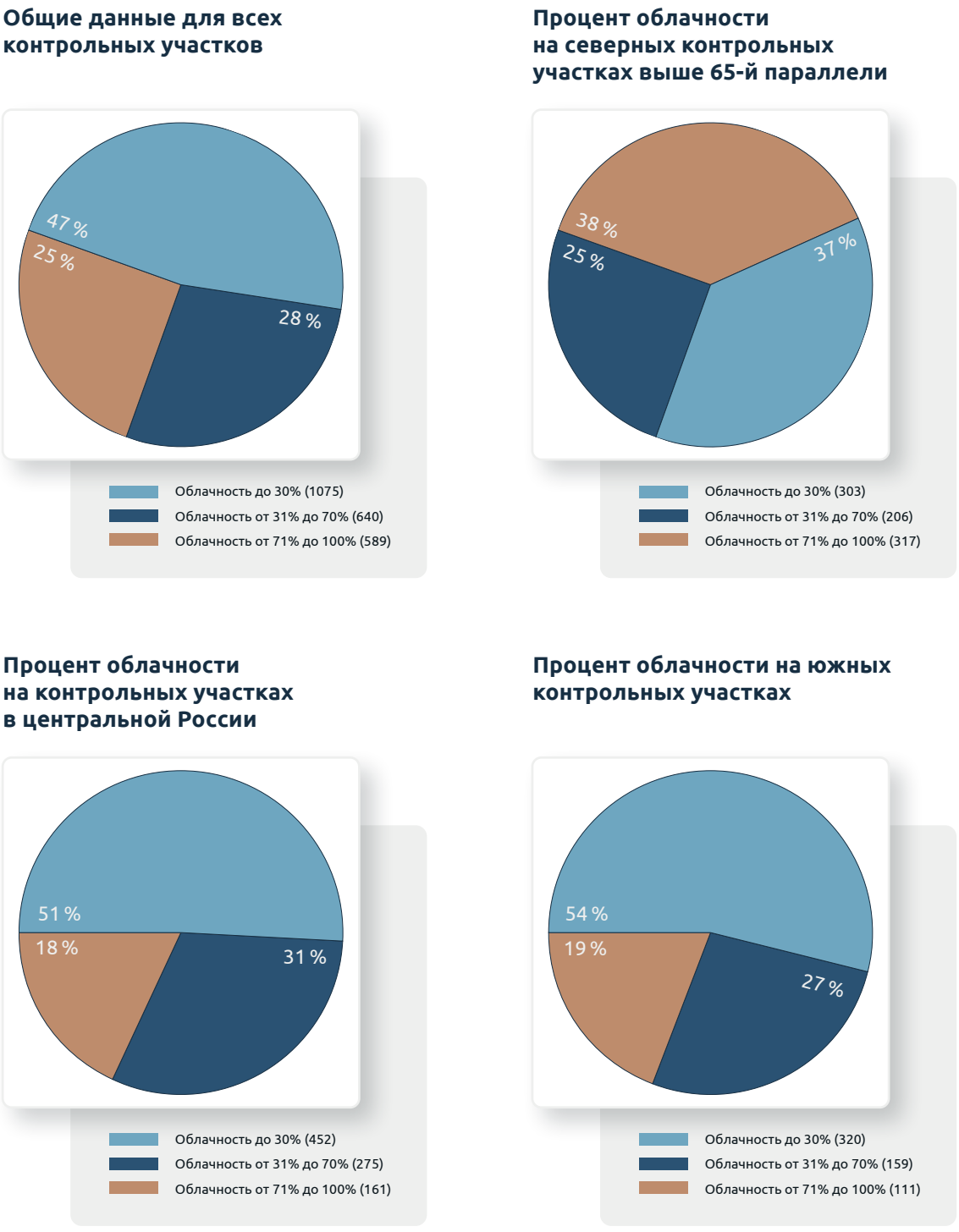
Рис. 2 Тестовые участки на территории РФ.

Fig. 2 Test areas on the territory of the Russian Federation.

в то время как центральный и южный регионы можно определить как наиболее подходящие для оптико-электронной съемки. Процент безоблачных снимков в направлении с севера на юг стабильно возрастает (**Рис. 3**).

Рис. 3 Статистика снимков по облачности.

Fig. 3 Image statistics by cloudiness.



2.2 Технические характеристики космических радиолокационных аппаратов

В **Таблице 2** приведены технические характеристики российского радиолокационного аппарата. В режиме наибольшей точности съемки разрешение будет достигать 1 м. Согласно действующему законодательству использование таких данных даже для земель, отнесенных к лесному, водному фонду и землям запаса, для кадастрового учета недопустимо. Кроме того, в зависимости от ширины полосы снижается качество изображения. Также следует отметить длительность цикла съемки: аппарат сможет повторно переснять территорию через 16 дней, что в сочетании с малым количеством спутников в группировке представляет некоторые трудности — оператору необходимо с особой тщательностью определять приоритетные территории для съемки.

Таблица 2 Технические характеристики КА типа «Кондор-ФКА».

Table 2 Technical characteristics of Kondor-FKA type satellites.

Параметр		Значение
Орбита		солнечно-синхронная
Высота, км		518
Наклонение, град.		97
Масса, кг		около 1100
Оборудование		SAR
Разрешение, м	детальный прожекторный режим	1–2
	детальный непрерывный режим	1–3
	обзорный режим	6–12
Точность геопозиционирования, м		10–30
Период повторной съемки, дни		16

Далее представлено сравнение результатов съемки одной местности с помощью радиолокационного и оптико-электронного спутников, имеющих на снимках приблизительно равную проекцию пикселя на местности. Ввиду отсутствия на момент написания статьи снимков с перспективного спутника был использован архивный снимок с аппарата прошлого поколения.

Для демонстрации преимущества радиолокационной съемки был выбран район с высокой облачностью. Следует отметить, что остров Онекотан был отснят с одного раза, досъемка не потребуется, в отличие от КА «Канопус-В», который должен переснять оставшуюся часть района.

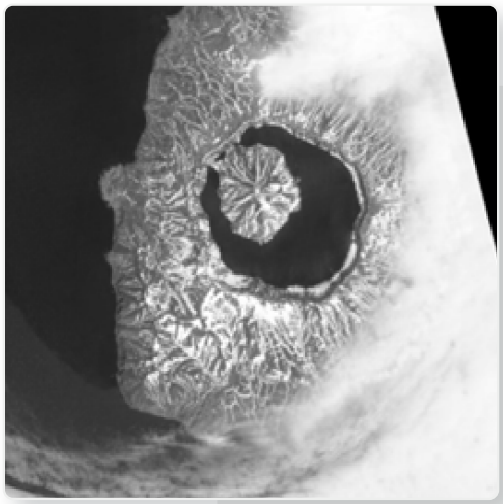
Как видно на **Рисунке 4**, ввиду расположения камеры сбоку спутника съемка происходит не в надир, из-за чего некоторые объекты могут быть скрыты рельефом. Так, на снимке с КА типа «Канопус-В» хорошо видны точки на острове, а на снимке с КА типа «Кондор» объект интереса может быть скрыт (**Рис. 5**).

Далее приведено сравнение российского радиолокационного аппарата с иностранными. Техническая характеристика КА Sequoia фирмы Capella Space приведена в **Таблице 3**. Во-первых, масса данного спутника в 10 раз меньше.

Рис. 4 Снимки острова Онекотан.

Fig. 4 Images of Onekotan Island.

Снимок с КА типа «Канопус-В»



Снимок с КА типа «Кондор»

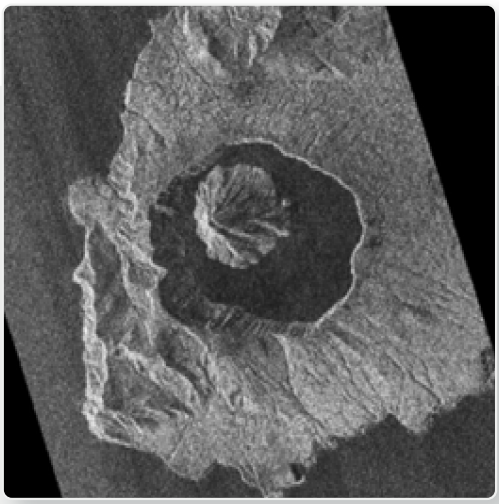
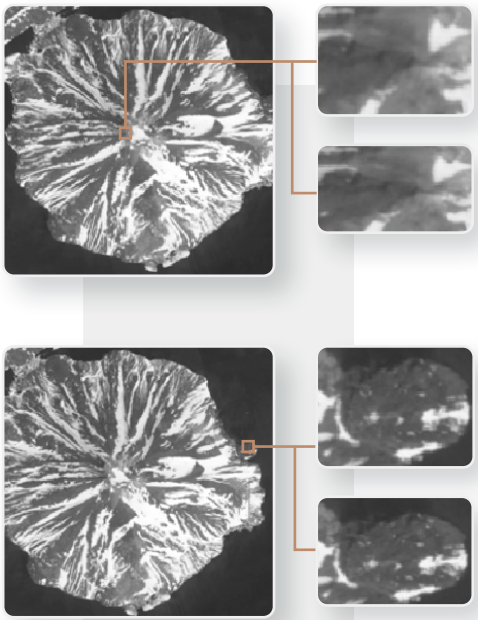


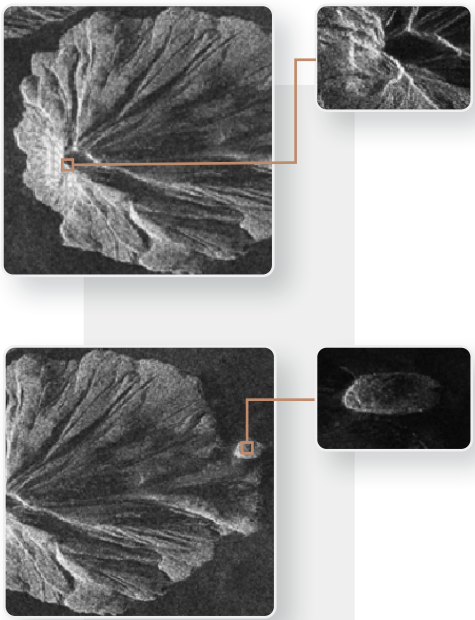
Рис. 5 Особенности съемки с КА типа «Канопус-В» и КА типа «Кондор».

Fig. 5 Features of imagery from Canopus-B and Condor satellites.

Снимки с КА типа «Канопус-В»



Снимки с КА типа «Кондор»



Во-вторых, цикл съемки аппарата составляет всего 6 часов, а это, в совокупности с группировкой, на порядок больше, чем у КА «Кондор-ФКА», что позволяет добиться, при необходимости, съемки в реальном времени. Однако следует отметить, что в наиболее точном режиме проекция пикселя на местности достигает всего 0,5 м, а значит, в мире уже существуют радиолокационные спутники, которые отвечают требованиям проекции пикселя на местности для нужд кадастровой деятельности на участках лесного, водного фондов и земель запаса. Необходимо стремиться к аналогичному результату для российской группировки КА.

На **Рисунках 6 и 7** приведен пример съемки с аппарата Capella Sequoia. Следует отметить, что на участке присутствует наклон изображения. На **Рисунке 8** представлена та же местность, отснятая с КА типа «Канопус-В».

Таблица 3 Технические характеристики КА типа «Кондор-ФКА».

Table 3 Technical characteristics of Kondor-FKA type satellites.

Параметр		Значение
Орбита		солнечно-синхронная
Высота, км		500
Наклонение, град.		90
Масса, кг		около 100
Оборудование		SAR
Разрешение на местности, м	детальный режим	0,5
	обзорный режим	1,2
	маршрутный режим	1,0
Период повторной съемки, ч		6
Полоса захвата, км	детальный режим	5×5
	обзорный режим	5×20
	маршрутный режим	5×10

Рис. 6 Снимок с КА Capella Sequoia.

Fig. 6 Capella Sequoia satellite image.

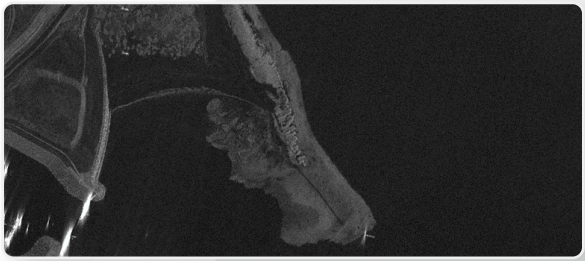


Рис. 8 Снимок с КА типа «Канопус-В».

Fig. 8 Kanopus-B satellite image.

Рис. 7 Особенности съемки КА Capella Sequoia.

Fig. 7 Features of Capella Sequoia satellite imagery.

Еще один иностранный радиолокационный аппарат — Iceye. Из **Таблицы 4** видно, что по характеристикам он ближе к КА Capella Sequoia, чем к КА типа «Кондор». Аналогичны масса, период повторной съемки и размер проекции пикселя.

На **Рисунке 9** представлены параметры снимков, которые можно изменять в зависимости от поставленной задачи и условий. Наиболее точный режим «Spot» позволяет отснять небольшую площадь, но дает возможность снимать гораздо чаще. Кроме того, состав группировки нивелирует этот недостаток.

Как отмечалось ранее, при съемке другими аппаратами указан важный для кадастра нюанс — возможность наличия наклона при получении изображения из-за особенностей размещения съемочного оборудования. Iceye — не исключение: наклон можно увидеть на **Рисунке 10**.

Таблица 4 Технические характеристики КА Iceye.

Table 4 Technical characteristics of Iceye spacecraft.

Параметр		Значение
Орбита		солнечно-синхронная
Высота, км		570
Наклонение, град.		98,6; 100,7
Масса, кг		85
Оборудование		SAR
Разрешение на местности, м	режим Strip	0,5–2,5
	режим Spot	0,5
	режим Slea	0,5
	режим Scan	до 15,0
Динамический диапазон, бит		16
Точность геопозиционирования, м		до 10

Рис. 9 Пример изменения параметров снимка с КА типа Iceye.

Fig. 9 Example of changing parameters of the Iceye satellite image.

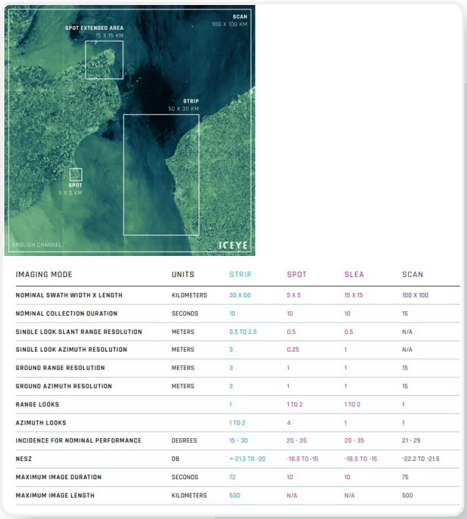
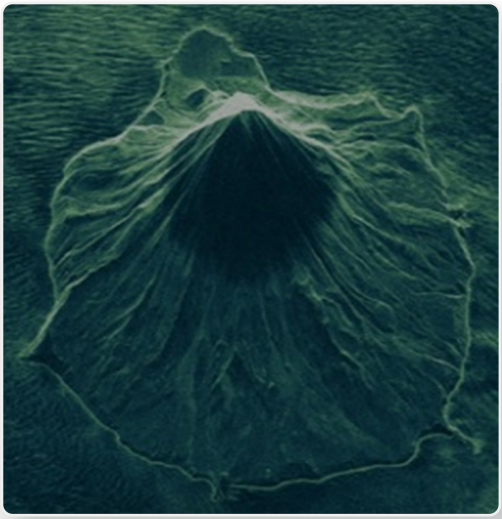


Рис. 10 Особенности съемки с КА типа Iceye.

Fig. 10 Features of imaging from Iceye satellites.



В этой связи наиболее перспективная роль российских радиолокационных спутников связана с работой в условиях севера. Данные перспективы отражены в распоряжении Правительства РФ от 1 августа 2022 г. № 2115-р, в котором утвержден План развития Северного морского пути на период до 2035 года. Наибольший интерес в контексте данного исследования представляет подпункт 2.1.9 «Строительство морского терминала по отгрузке свинцово-цинкового концентрата на архипелаге Новая Земля». На момент проведения исследования там находится земельный участок, относящийся к категории земель особо охраняемых территорий, и, вероятно, часть земли будет переведена в категорию земель промышленности, где будут выполняться строительные работы. Мониторинг строительства и прилегающих территорий будет целесообразно вести с помощью КА типа «Кондор-ФКА».

3 Результаты

По результатам анализа нормативно-правовой документации, в частности приказа Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии от 23 октября 2020 г. №П/0393 (далее — приказ №П/0393), можно констатировать, что даже в наиболее точном режиме съемки аппараты типа «Кондор-ФКА» не могут до принятия соответствующих изменений в законодательстве использоваться для кадастровых работ. Однако можно рассмотреть результаты съемок с иностранных КА, часть которых отвечает необходимым требованиям, предъявляемым к земельным участкам лесного фонда, водного фонда и землям запаса.

Опираясь на статистику облачности для территории РФ, можно отметить, что наиболее облачными являются северные широты. Процент удачных снимков с оптико-электронных КА по этому параметру там гораздо ниже, чем в южных регионах. Следовательно, применение аппаратов, оснащенных радиолокационным съемочным оборудованием, будет более целесообразно именно в этой местности, так как они не зависят от данного параметра. В ходе реализации комплексной программы развития Северного морского пути множество инфраструктурных проектов будет нуждаться в спутниковых данных ДЗЗ.

4 Обсуждение

Выявлено, что в первую очередь радиолокационные снимки необходимы для северных и береговых территорий РФ, где доля снимков с облачностью менее 30% составляет в среднем 40%. Данные ДЗЗ, полученные с таких

аппаратов, позволят сократить количество необходимых попыток съемки одной и той же территории.

Несмотря на независимость от погодных условий, объем полученных данных с двух планируемых КА типа «Кондор» будет недостаточен для покрытия территории РФ необходимым количеством снимков, пригодных для ведения стабильной кадастровой деятельности, однако это реализуемо для конкретных инфраструктурных проектов федерального значения.

Принципиальное отличие по времени цикла повторной съемки российских радиолокационных аппаратов от западных аналогов, а также запланированное малое количество спутников затрудняют регулярное обновление информации для районов интереса.

Несмотря на перспективность применения радиолокационных спутников, особенно в северном регионе РФ, для использования в кадастровой деятельности из-за размера проекции пикселя на снимках радиолокационные спутники российской группировки непригодны.

Исходя из вышеперечисленного **можно сформулировать следующие рекомендации:**

1. Восстановить группировку КА типа «Ресурс-П» в части работы с данными ДЗЗ, необходимыми в качестве основы для кадастровых работ.
2. Пересмотреть законодательство относительно размера проекции пикселя на местности для категории земель лесного фонда, водного фонда и земель запаса в части смягчения требований к ним для возможности использования КА типа «Кондор-ФКА» и КА типа «Канопус-В» в кадастровой деятельности.
3. Рассмотреть возможность расширения группировки КА типа «Кондор-ФКА», так как объем получаемых снимков слишком мал для территории РФ.
4. Пересмотреть концепцию строительства КА с радиолокационным съемочным оборудованием на основе опыта использования группировок КА иностранных фирм.

5 Выводы

В настоящее время КА типа «Кондор-ФКА» непригодны для применения в кадастровой деятельности. Несмотря на то, что СКП данных, полученных с КА, гипотетически может соответствовать требованиям, приведенным в приложении 1 к приказу №П/0393, требуемая проекция пикселя на местности в настоящее время недостижима. Вместе с тем иностранные космические группировки уже достигли этих характеристик в наиболее точном режиме съемки, и это дает основания полагать, что последующие серии российских КА смогут получать данные ДЗЗ необходимого качества. С большой долей вероятности потребуется внести изменения в концепцию российского спутникостроения, чтобы достигнуть

необходимых результатов, кроме того, существует задача по стандартизации производства КА. Это позволит российской космической группировке ускоренными темпами достичь необходимой численности аппаратов.

На сегодняшний день следует применить материалы, полученные с рассматриваемых аппаратов, для решения задач федеральных проектов, особенно в регионах со сложной погодной обстановкой, где они будут особенно полезны благодаря своим преимуществам. Также представляется целесообразным пересмотр ряда положений приказа №П/0393.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность научному руководителю Т.В. Илюшиной, доктору географических наук, доценту МИИГАиК; И.И. Кузнецову и В.Ю. Мельникову, специалистам НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы»; А.Г. Чибуничеву, доктору технических наук, профессору МИИГАиК; В.М. Куркову, кандидату технических наук, доценту МИИГАиК за важные замечания при проведении исследования.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Тюлин А.Е., Селин В.А., Емельянов А.А. и др. Синтез рационального состава орбитальной группировки космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // К.Э. Циолковский и прогресс науки и техники в XXI веке: материалы 56-х научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Т. 1. Калуга: Эйдос Калуга, 2021. С. 39–42.
2. Тюлин А.Е., Селин В.А., Емельянов А.А. Актуализация приоритетов развития отечественной отрасли дистанционного зондирования Земли из космоса // Материалы XXII Международной научной конференции «Системный анализ, управление и навигация». М.: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2018. С. 17–18.
3. Заичко В.А., Селин В.А. Мероприятия федерального космического агентства России по созданию космических средств радиолокационного наблюдения и технологий комплексной обработки данных // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2013. №5. С. 4–5.
4. Голов Н.А., Усачёв В.А., Корянов В.В., Топорков А.Г. Перспективные технологии создания космического комплекса радиолокационного зондирования Земли на базе малых космических аппаратов и ракет-носителей легкого класса // Инженерный журнал: наука и инновации. 2019. №5. С. 1–19. DOI:10.18698/2308-6033-2019-5-1881.
5. Хатиб А., Малинников В.А. Интеграция результатов независимых классификаций разновременных материалов космической съемки для повышения достоверности выявления изменения объектов земной поверхности // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2021. №65. С. 175–183. DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-2-175-183.
6. Беленко В.В., Шамина К.Н. Методика мониторинга разлива нефти при авариях на морских нефтегазовых месторождениях по материалам космической

съемки // Естественные и технические науки. 2021. №8. С. 112–121. DOI:10.25633/ETN.2021.08.11.
7. Кравцова В.И., Ерлич В.А. Картографическая оценка возможностей градостроительного использования территории Новой Москвы // Геодезия и картография. 2015. №5. С. 20–32. DOI:10.22389/0016-7126-2015-899-5-20-32.
8. Хвостиков С.А., Барталёв С.А. Возможности применения данных спутникового мониторинга для моделирования динамики развития природных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. №5. С. 9–27. DOI:10.21046/2070-7401-2021-18-5-9-27.
9. Барталёв С.А., Ховратович Т.С. Анализ возможностей применения методов сегментации спутниковых изображений для выявления изменений в лесах // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. №1. С. 44-62.
10. Кашницкий А.В., Лупян Е.А., Барталёв С.А. и др. Оптимизация интерактивных процедур картографирования гарей в информационных системах дистанционного мониторинга природных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. №4. С. 7–16.

АВТОРЫ

Новиков Сергей Сергеевич
Научный центр оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ)
АО «Российские космические системы», Москва, Россия
0000-0002-4927-4542

Новикова Полина Евгеньевна
Научный центр оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ)
АО «Российские космические системы», Москва, Россия
p.novikova93@mail.ru
0000-0001-8474-440X

Поступила 25.05.2023. Принята к публикации 23.06.2023. Опубликована 30.06.2023.

UDC 528.4, 528.8
DOI:10.30533/scidata-2023-14-04

Prospects of using radar satellites in monitoring and cadastral activities

Sergey S. Novikov[1] ✉, Polina E. Novikova[1]

AFFILIATIONS

[1] Research Center for Earth Operative Monitoring of JSC "Russian Space Systems", Moscow, Russia

✉ s.novikov92@inbox.ru

CITATION

Novikov SS, Novikova PE. Prospects of using radar satellites in monitoring and cadastral activities. *Spatial Data: science, research and technology.* 2023;14(1): 49–64. DOI:10.30533/scidata-2023-14-04.

KEYWORDS

Kanopus-B, Condor, Condor-FSA, space imagery, remote sensing of the Earth, cadastral activities, radar imagery, influence of cloud cover, federal program

ABSTRACT

For the last 8 years, the Russian space constellation has lacked spacecraft capable of radar imaging. The previous satellite equipped with such imaging equipment was decommissioned in April 2015, and it took a long period of time to build new ones to replace it. This type of imaging equipment differs significantly from the usual optical-electronic imaging equipment. Despite a number of advantages, these spacecrafts have some disadvantages. In this paper the differences between these types of spatial data acquisition are considered, including those caused by different methods of survey equipment installation. The influence of weather conditions on the received terrain images was studied, for this purpose 2304 images were analyzed at 17 control areas in different parts of the Russian Federation. The possibility of using images from radar satellites for application in cadastral activities was assessed based on the requirements

to accuracy and methods of characteristic point coordinates determination (accuracy values (mean square error) of characteristic point coordinates determination for land plot boundaries) formulated in Annex 1 of the Order of the Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography No. P/0393 dated October 23, 2020, and during implementation of federal projects using the example of the Northern Sea Route development program.

REFERENCES

1. Tyulin AE, Selin VA, Emelianov AA, et al. Sintez raional'nogo sostava orbital'noi gruppirovki kosmicheskikh apparatov distantsionnogo zondirovaniia Zemli [Synthesis of the rational composition of the orbital grouping of Earth remote sensing spacecraft]. ***K.E. Tsiolkovsky and the progress of science and technology in the XXI century: proceedings of 56th scientific readings devoted to the development of scientific heritage and the development of K.E. Tsiolkovsky's ideas.*** Kaluga: Eidos Kaluga, 2021: 39–42. (In Russian).
2. Tyulin AE, Selin VA, Emelianov AA. Aktualizatsiia prioritetov razvitiia otechestvennoi otrasli distantsionnogo zondirovaniia Zemli iz kosmosa [Updating the priorities for the development of the domestic industry of remote sensing of the Earth from space]. ***Proceedings of the XXII International Scientific Conference "System Analysis, management and Navigation"***. Moscow: Moscow Aviation Institute (National Research University). 2018: 17–18. (In Russian).
3. Zaichko VA, Selin VA. Meropriyatiya federal'nogo kosmicheskogo agentstva Rossii po sozdaniyu kosmicheskikh sredstv radiolokatsionnogo nablyudeniya I tekhnologii kompleksnoi obrabotki dannykh [Russian federal agency activities for the creation of the space radar observation facilities and integrated data processing technologies]. ***Bulletin of the Siberian State Aerospace University named after Academician M.F. Reshetnev.*** 2013;5: 4–5. (In Russian).
4. Golov NA, Usachev VA, Koryanov VV, Toporkov AG. Perspektivnye tekhnologii sozdaniya kosmicheskogo kompleksa radiolokatsionnogo zondirovaniya Zemli na baze malykh kosmicheskikh apparatov I raket-nositelei legkogo klassa [Promising technical solutions for the space complex of the Earth's radar sensing based on small spacecraft and light-class launch vehicles]. ***Engineering Journal: Science and Innovation.*** 2019;5: 1–19. (In Russian). DOI:10.18698/2308-6033-2019-5-1881.
5. Khatib A., Malinnikov V.A. Integratsiya rezul'tatov nezavisimykh klassifikatsii raznovremennykh materialov kosmicheskoi s"emki dlya povysheniya dostovernosti vyyavleniya izmeneniya ob"ektov zemnoi poverkhnosti [Collecting results of independent classifications of space survey multi-temporal materials to improve the reliability of detecting changes of the Earth's surface objects]. ***Izvestia vuzov "Geodesy and Aerophotosurveying".*** 2021;65(2): 175–183. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-2-175-183.
6. Belenko VV, Shamina KN. Metodika monitoringa razliva nefti pri avarijah na morskih neftegazovyh mestorozhdenijah po materialam kosmicheskoj sjomki [Methodology of oil spill monitoring in case of accidents at offshore oil and gas fields using space imagery

data]. *Natural and technical sciences.* 2021;8: 112–121. (In Russian). DOI:10.25633/ETN.2021.08.11.

7. Kravtsova VI, Erlich VA. Kartograficheskaya otsenka vozmozhnostei gradostroitel'nogo ispol'zovaniya territorii Novoi Moskvy [Cartographic assessment of the possibilities of urban using the territory of New Moscow]. *Geodesy and cartography.* 2015;5: 20–32. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2015-899-5-20-32.
8. Khvostikov SA, Bartalev SA. Vozmozhnosti primeneniya dannykh sputnikovogo monitoringa dlya modelirovaniya dinamiki razvitiya prirodnykh pozharov [Use of remote sensing data in wildfire modelling]. *Current problems in remote sensing of the Earth from space.* 2021;18(5): 9–27. (In Russian). DOI:10.21046/2070-7401-2021-18-5-9-27.
9. Bartalev SA, Khovratovich TS. Analiz vozmozhnostei primeneniya metodov segmentatsii sputnikovykh izobrazhenii dlya vyyavleniya izmenenii v lesakh [Assessment of satellite images segmentation methods for forest change detection]. *Current problems in remote sensing of the Earth from space.* 2011;8(1): 44–62. (In Russian).
10. Kashnitsky AV, Loupian EA, Bartalev SA, et al. Optimizatsiya interaktivnykh protsedur kartografirovaniya garei v informatsionnykh sistemakh distantsionnogo monitoringa prirodnykh pozharov [Optimization of burn mapping interactive procedures in remote fire monitoring information systems]. *Current problems in remote sensing of the Earth from space.* 2015;12(4): 7–16. (In Russian).

AUTHORS

Sergey S. Novikov
Research Center for Earth Operative Monitoring of JSC "Russian Space Systems", Moscow, Russia
0000-0002-4927-4542

Polina E. Novikova
Research Center for Earth Operative Monitoring of JSC "Russian Space Systems", Moscow, Russia
p.novikova93@mail.ru
0000-0001-8474-440X

Submitted: May 25, 2023. Accepted: June 23, 2023. Published: June 30, 2023.