

NEW APPROACH TO DETECTION C-BAND GROUND AND NAVAL RADARS

НОВЫЙ ПОДХОД К ОБНАРУЖЕНИЮ НАЗЕМНЫХ И КОРАБЕЛЬНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ С-ДИАПАЗОНА

Kirill A. ZANIN,
Dr. Sci. (Tech), Leading Research Scientist,
Lavochkin Association, Moscow, Russia,
rc4a@laspace.ru

Nikolay N. KLIMENKO,
Cand. Sci. (Tech), Lieutenant-General retired,
Deputy General Director, Lavochkin Association, Moscow, Russia,
Klimenko@laspace.ru

ABSTRACT | C-band military radars cause interferences to Sentinel-1 SAR satellite when it passes over their application area. Their interfering signals produce visible X marks in SAR satellite imagery. The article deals with new signal processing technique, first introduced by Israeli researcher, based on using these marks to detect and geolocate corresponding radars.

Keywords: Sentinel-1 SAR satellite, C-band, detection and geolocation of military radars, X marks, interference lines, radar imagery



Кирилл Анатольевич ЗАНИН,
доктор технических наук, ведущий научный
сотрудник АО «НПО Лавочкина», Москва, Россия,
rc4a@laspace.ru



Николай Николаевич КЛИМЕНКО,
кандидат технических наук, заместитель генерального
директора АО «НПО Лавочкина», Москва, Россия,
Klimenko@laspace.ru

АННОТАЦИЯ | Военные радиолокационные системы С-диапазона создают помехи космическим аппаратам Sentinel-1 с радиолокатором с синтезированной апертурой во время прохождения над районом их применения. Их сигналы производят заметные X-образные отметки на космических радиолокационных снимках.

В статье рассматривается новый способ обработки сигналов, впервые введенный израильским исследователем. Он основан на использовании этих отметок для обнаружения и местопределения соответствующих радиолокационных систем.

Ключевые слова: КА Sentinel-1 с радиолокатором с синтезированной апертурой, С-диапазон, обнаружение и геолокация военных РЛС, X-образные отметки, «помеховые полосы», радиолокационные изображения

ВВЕДЕНИЕ

В 2000-е годы космические аппараты с радиолокатором с синтезированной апертурой (КА РСА) становятся заметным фактором на рынке информационных услуг. В настоящее время на орбите функционирует ряд коммерческих КА РСА с различными специфическими возможностями. В отличие от США, Германии и Италии, где КА РСА ориентированы прежде всего на съемку континентальных районов с высоким разрешением в X-диапазоне, в других европейских странах и в Канаде создавались КА РСА для слежения за морской обстановкой в С-диапазоне [1, 2]. С запуском КА РСА Sentinel-1, работающего в С-диапазоне на частоте 5,405 ГГц, положено начало открытому распространению радиолокационной информации (РЛИ). Информация с КА РСА Sentinel-1 ежесуточно сбрасывается на серверы Европейского космического агентства (ЕКА), где она становится доступной для любого пользователя на таких порталах, как Copernicus-SCIHUB, EO-Browser, Google Earth Engine.

КА РСА наряду с известными достоинствами имеют и недостатки, связанные с воздействием на качество и достоверность РЛИ различного рода помех, среди которых выделим радиопомехи от наземных и космических источников излучения (ИРИ), работающих в одном и том же с РСА диапазоне частот. Это обусловило проведение интенсивных исследований, направленных на борьбу с помехами РСА. Интенсификация этих исследований способствовала открытому доступу к РЛИ с КА РСА Sentinel-1.

Израильский исследователь установил, что мощные источники радиоизлучения, работающие в диапазоне частот РСА С-SAR космического аппарата Sentinel-1, порождают помехи-артефакты на радиолокационных изображениях, которые он использовал для обнаружения и геолокации военных радиолокационных систем.

В ходе таких исследований израильским специалистом в области ГИС-технологий Харелом Даном (Harel Dan) получены нетривиальные результаты. Им установлено, что мощные ИРИ, работающие в диапазоне частот РСА С-SAR КА Sentinel-1, порождают помехи-артефакты на радиолокационных изображениях, которые он использовал для обнаружения и геолокации военных РЛС, а также для оценки их активности в районах особого внимания (РОВ) в специфические периоды времени. Израильский исследователь при случайной некорректной регулировке уровня помех в РЛИ в среде Google Earth Engine обнаружил X-образные отметки на изображениях по всему миру (рис. 1). Проведенный анализ привел его к выводу, что эти отметки – результат воздействия на РСА радиосигналов РЛС, работающих, как и РСА С-SAR, в С-диапазоне. Рабочая частота РСА С-SAR совпадает с диапазоном частот, используемым наземными и корабельными РЛС ПВО (5,250...5,850 ГГц). В частности, наиболее

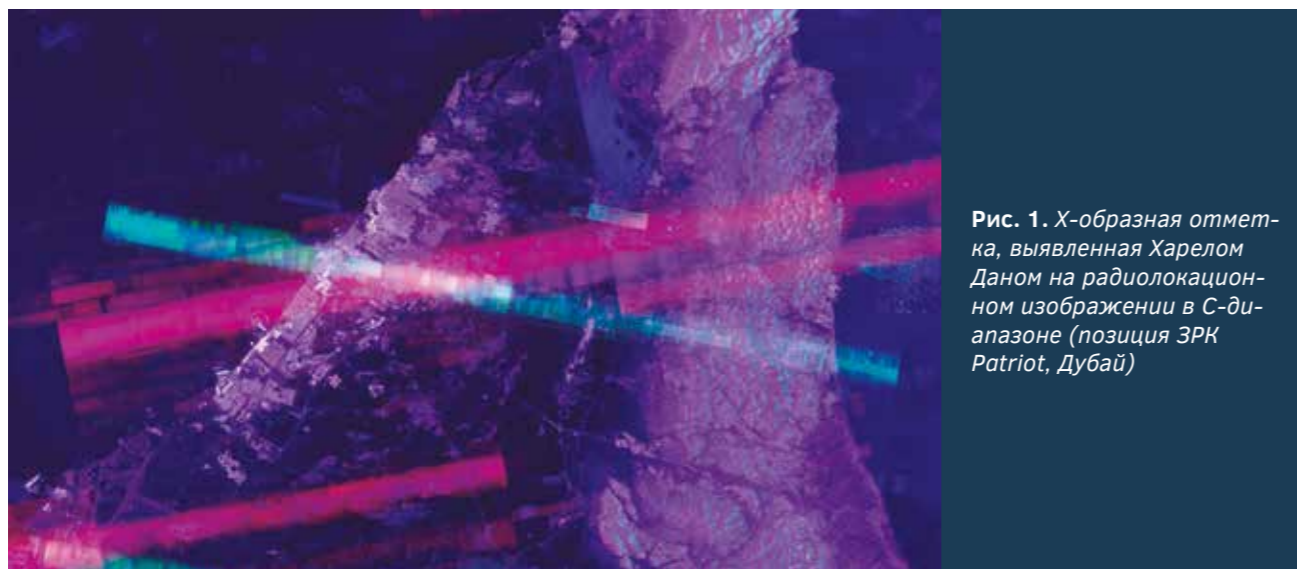
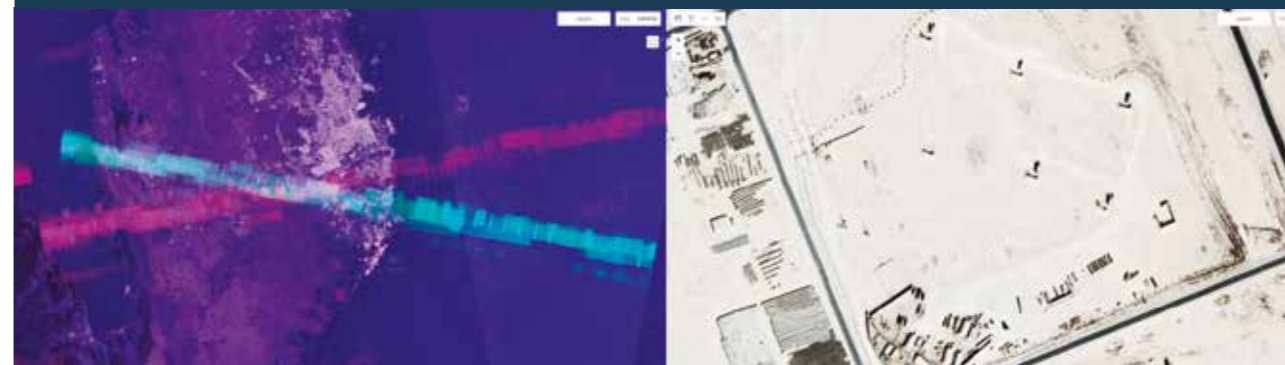


Рис. 1. X-образная отметка, выявленная Харелом Даном на радиолокационном изображении в С-диапазоне (позиция ЗРК Patriot, Дубай)

Рис. 2. Батарея ЗРК Patriot на авиабазе Аль-Удейд, Катар: слева – X-образная отметка, полученная Харелом Даном; справа – снимок позиции ЗРК Patriot на этой авиабазе, полученный КА ОЭН



известными РЛС, работающими в С-диапазоне, являются РЛС AN/MPQ-53/65 из состава ЗРК Patriot. Харел Дан выдвинул гипотезу, что X-образные отметки на изображениях РСА С-SAR обусловлены воздействием сигналов этих РЛС [3]. В рамках своей гипотезы он проанализировал соответствие положения X-образных отметок и известных ему данных о местоположении ЗРК Patriot в Ближневосточном регионе на территории Катара, Бахрейна, Иордании, Кувейта, Саудовской Аравии. В подтверждение гипотезы израильский исследователь показал, что полученные им X-образные отметки на снимках РСА С-SAR однозначно совпадают с местоположением РЛС AN/MPQ-53/65 из состава ЗРК Patriot, данные о которых ранее были получены по снимкам КА ОЭН: на авиабазах Аль-Удейд в Катаре, Иса в Бахрейне, Аден в Йемене, Аль-Азрак в Иордании,

Али аль-Салем в Кувейте [3], а также на позиции ЗРК, прикрывающего Дубай [4]. Результат сопоставительного анализа, проведенного на примере ЗРК на авиабазе Аль-Удейд, см. на рис. 2.

X-образные отметки ложились и на израильскую территорию (они не были приведены Харелом Даном в связи с известными режимными ограничениями). Однако независимые исследователи установили четыре X-образные отметки, соответствующие размещению ЗРК Patriot, которые известны в Израиле под названием Yahaalom (Diamond) и обеспечивают прикрытие ядерных объектов этой страны (рис. 3) [5].

«Помеховые полосы» имеют различные размеры, поляризацию и пространственное положение на земной поверхности, однако они всегда располагаются перпендикулярно направлению движения космического аппарата РСА. С использованием ПК 5 GIT можно получить информацию, необходимую для идентификации радиолокационной системы.

Эмпирически сформулированный Харелом Даном способ обнаружения и геолокации некоторых типов военных РЛС по открытым радиолокационным снимкам в С-диапазоне получил дальнейшее развитие. Специально для содействия исследователям, использующим описываемый способ, разработан программный комплекс (ПК) в среде Google Earth Engine, получивший название 5 GIT (5 GHz Interference Tracker). Такой инструмент предназначен для селекции сигналов мощных ИРИ, работающих на частотах, близких к рабочей частоте РСА С-SAR. Заинтересованный пользователь может ознакомиться с пособием по применению про-

Рис. 3. X-образные отметки на территории Израиля

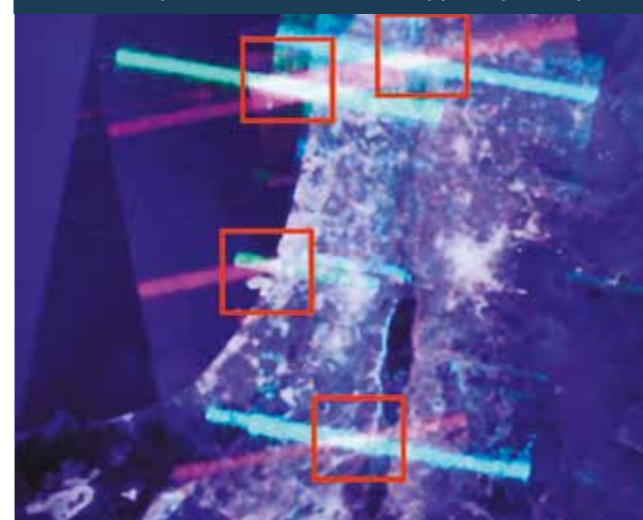




Рис. 4. Пример применения ПК 5 GIT в среде Google Earth Engine (шведская береговая сеть РЛС STRIL)

граммного комплекса 5 GIT [6], а на сайте [7] можно посмотреть на результаты применения ПК 5 GIT в глобальном масштабе в среде Google Earth Engine (рис. 4, 5).

Применение ПК 5 GIT позволило установить, что радиолокационной системой из состава ЗРК Patriot не ограничивается перечень РЛС, формирующих «помеховые отметки» на снимках PCA C-SAR [4, 8, 9, 10]. Такие отметки также формируют сигналы: РЛС AN/SPS-67 (устанавливается на эсминцах УРО класса Arleigh Burke [8]); РЛС 96L6E (Cheese Board) и РЛС 96N2E (Grave Stone) из состава ЗРК С-300 и С-400 (типы РЛС приведены в американской классификации) [9]; РЛС из состава ЗРК HQ-9; РЛС STRIL из состава шведской береговой сети; РЛС EMPAR (SPY-790) (устанавливается на французских и итальянских фрегатах класса

Horizon [8]); РЛС KRONOS Grand (корабельный вариант РЛС EMPAR, устанавливается на французских и итальянских фрегатах класса FREMM [10]); японская корабельная РЛС FCS-3 (устанавливается на вертолетоносцах JS Hyuga (DDH-181), Izumo (DDH-180), а также на фрегатах класса Akizuki и Asahi [11]); китайские корабельные РЛС Type 381, 382, 346 [4] и ряд РЛС более ранних модификаций; РЛС на полигоне White Sands и ряд других американских и российских корабельных РЛС. Верификация указанных РЛС затруднена ввиду отсутствия у исследователей достоверных данных об их местоположении. Однако этот пробел легко устраним специалистами, располагающими соответствующими данными.

В ряде источников [12, 13, 14] отмечается, что помехи PCA C-SAR часто возникают при пролете

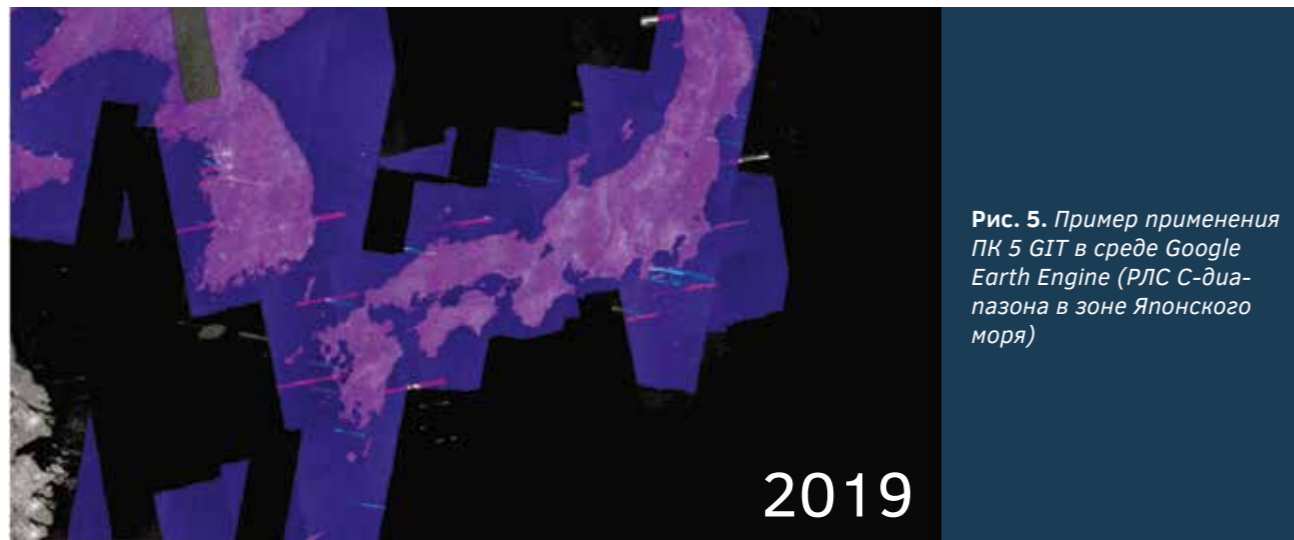


Рис. 5. Пример применения ПК 5 GIT в среде Google Earth Engine (РЛС С-диапазона в зоне Японского моря)

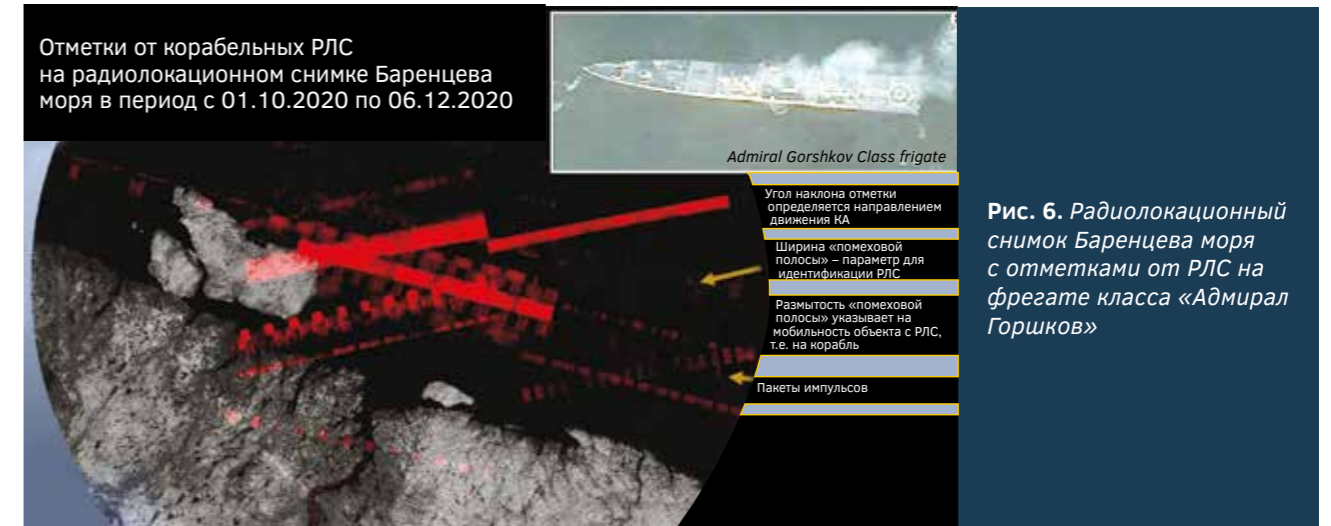


Рис. 6. Радиолокационный снимок Баренцева моря с отметками от РЛС на фрегате класса «Адмирал Горшков»

КА Sentinel-1 над Баренцевым морем. Полагают, что эти помехи исходят от непостоянно работающих РЛС. Так, с шестого ноября 2020 года в течение девяти дней на радиолокационных снимках появлялись отметки, похожие на отметки от РЛС, выявленные Харелом Даном. Эксперты связывают их появление с проведением учений боевых кораблей. В [13, 14] приведены снимки с X-образными отметками над Баренцевым морем (рис. 6, 7), полученные КА PCA Sentinel-1. При этом отмечается, что по времени эти снимки совпадают с проведением ВМФ РФ серии ракетных испытаний. В то же время в другие периоды такие отметки отсутствовали. По характеру отметок на снимке на рис. 6 сделан вывод, что помеху создает подвижный объект в море, то есть корабль. Эксперты полагают, что эти помехи исхо-

дили от РЛС корвета класса «Адмирал Горшков». Приведенный пример трактуют как потенциальную возможность использования рассматриваемого способа мониторинга корабельных РЛС для оценки морской ситуации в российской арктической зоне.

Рассмотрим более детально информационные аспекты этого способа. Радиопомехи от мощных ИРИ проявляются в виде протяженных размытых полос, всегда перпендикулярных направлению движения КА PCA, а их наклон зависит от того, на каком витке – восходящем или нисходящем – они получены. При этом такие полосы, полученные при пролете КА PCA над конкретным ИРИ на восходящем и нисходящем витках, пересекаются под определенным углом, образуя X-образные отметки. Применительно к стацио-

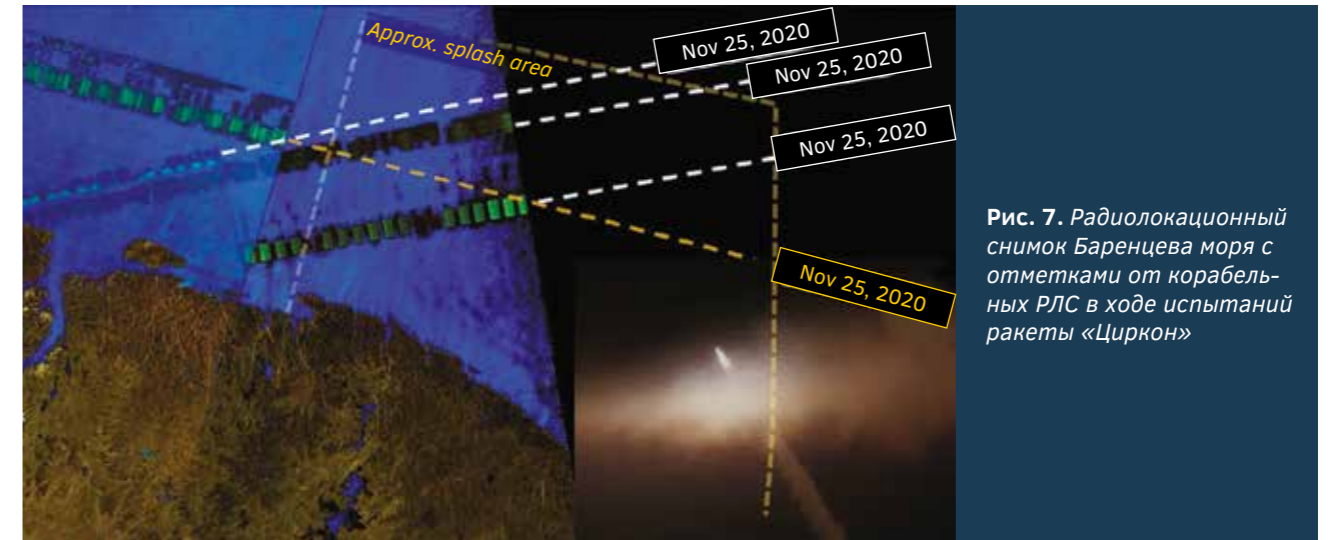


Рис. 7. Радиолокационный снимок Баренцева моря с отметками от корабельных РЛС в ходе испытаний ракеты «Циркон»

нарным и малоподвижным ИРИ формирование X-образных отметок может осуществляться в разнесенные периоды времени, соответствующие периодам работы ИРИ на излучение. Местоположение ИРИ соответствовало месту пересечения «помеховых полос».

«Помеховые полосы» имеют различные размеры, поляризацию и пространственное положение на земной поверхности, однако, как уже отмечалось, они всегда располагаются перпендикулярно направлению движения КА РСА. С использованием ПК 5 GIT можно получить информацию (ширину спектра помехи, период следования импульсов, частоту вращения антенны), необходимую для идентификации РЛС. Несмотря на невысокую достоверность результатов идентификации, по этим данным можно осуществлять наведение КА ОЭН с высоким разрешением для распознавания (идентификации) РЛС и / или ассоциированных с РЛС объектов интереса. При этом даже в случае невозможности получения X-образной отметки (например, для случая кратковременно работающих на излучение РЛС) может быть произведен поиск объекта интереса вдоль «помеховой полосы».

Развитие рассматриваемого подхода может осуществляться по следующим направлениям:

- теоретическое подтверждение процесса формирования «помеховых полос» на радиолокационных снимках под воздействием сигналов РЛС;
- определение диапазонов частот, где может быть применен подобный подход;
- установление зависимости между формой, шириной и размахом «помеховых полос» и мощ-

ностью и другими параметрами помехового сигнала, а также параметрами сканирования фазированной антенной решетки РСА;

- возможность выделения поэземплярных признаков для более достоверной идентификации РЛС.

Многообещающие теоретические исследования в этом направлении приведены в [15, 16, 17]. В [15] получены аналитические соотношения для моделирования результатов воздействия радиопомех в виде одиночных ЛЧМ-импульсов (линейная частотная модуляция) на формирование изображения в РСА. Показано, что помеха представляет собой двумерный ЛЧМ-сигнал-артефакт, который фиксируется на радиолокационном изображении в виде полосы, формируемой с ограничениями в пространстве наклонная дальность — азимут. Приведены соотношения для определения размеров «помеховой полосы» и положения ее центра, соответствующего местоположению источника помехового ЛЧМ-сигнала. В [17] представлен алгоритм автоматической идентификации помеховых артефактов на снимках РСА C-SAR в процессе их обработки с использованием ПК Machine Learning U-Net-Like CNN. Наряду с идентификацией радиопомех решается задача геолокации источника помех. Следует отметить, что полученные результаты положены также в основу эффективной фильтрации радиопомех на радиолокационных снимках.

Несмотря на то, что исследования в рассматриваемой области еще далеки от завершения, можно утверждать следующее:

- рассматриваемый подход обеспечивает в большинстве случаев местоопределение источ-

ников помеховых сигналов или, по крайней мере, локализацию района их расположения; - имеется возможность вскрытия степени боевой готовности определенных объектов по частоте включения ассоциированных с ними РЛС, а в случае корабельных РЛС есть возможность отслеживать океанские и морские переходы, а также оценивать морскую обстановку и раскрывать морские операции, проводимые в зонах особого внимания в глобальном масштабе.

Объединение указанных выше данных с другими открытыми данными, получаемыми по снимкам коммерческих КА ОЭН, данных коммерческих КА РЭН типа HE 360, снимков и видеoinформации из социальных сетей дает возможность получения более детального представления об объектах интереса. Следует еще раз отметить, что в предельных случаях достаточно иметь «помеховую полосу» лишь на одном витке и использовать ее для наведения других средств воздушно-космического наблюдения, которые смогут сократить неопределенность и получить более точные и достоверные данные по идентификации и местоопределению объектов интереса. Так, в [8] приведен пример, когда после нескольких месяцев отсутствия военной активности в заливе Сидра КА РСА Sentinel-1 зарегистрировал рассматриваемым способом отметки от корабельных РЛС. Наведение по этим данным КА ОЭН на соответствующую морскую зону позволило выявить шесть кораблей класса фрегат / корвет на переходе. В [8] приведены результаты мониторинга морской обстановки у побережья Ливии по помеховым отметкам РСА C-SAR. По данным, полученным с КА РСА Sentinel-1, осуществлялось наведение КА ОЭН Planet, по снимкам которого было установлено, что эти отметки соответствуют РЛС EMPAR, установленной на фрегате класса Horizon (рис. 8).

Следует отметить, что зачастую отсутствие точных данных по местоположению и идентификации объектов в рамках рассматриваемого подхода оказывается не столь важным, если по наличию «помеховой полосы» удается получить беспрецедентный доступ к некоторым ранее недоступным данным по применению военных объектов [4].

В итоге можно констатировать появление еще одного коммерческого источника оперативной информации, который может быть эффективно применен при мультиинформационном мониторинге военной деятельности разнородными средствами воздушно-космического базирования.

Наряду с помехами от наземных и корабельных РЛС подобные X-образные отметки на радиоло-

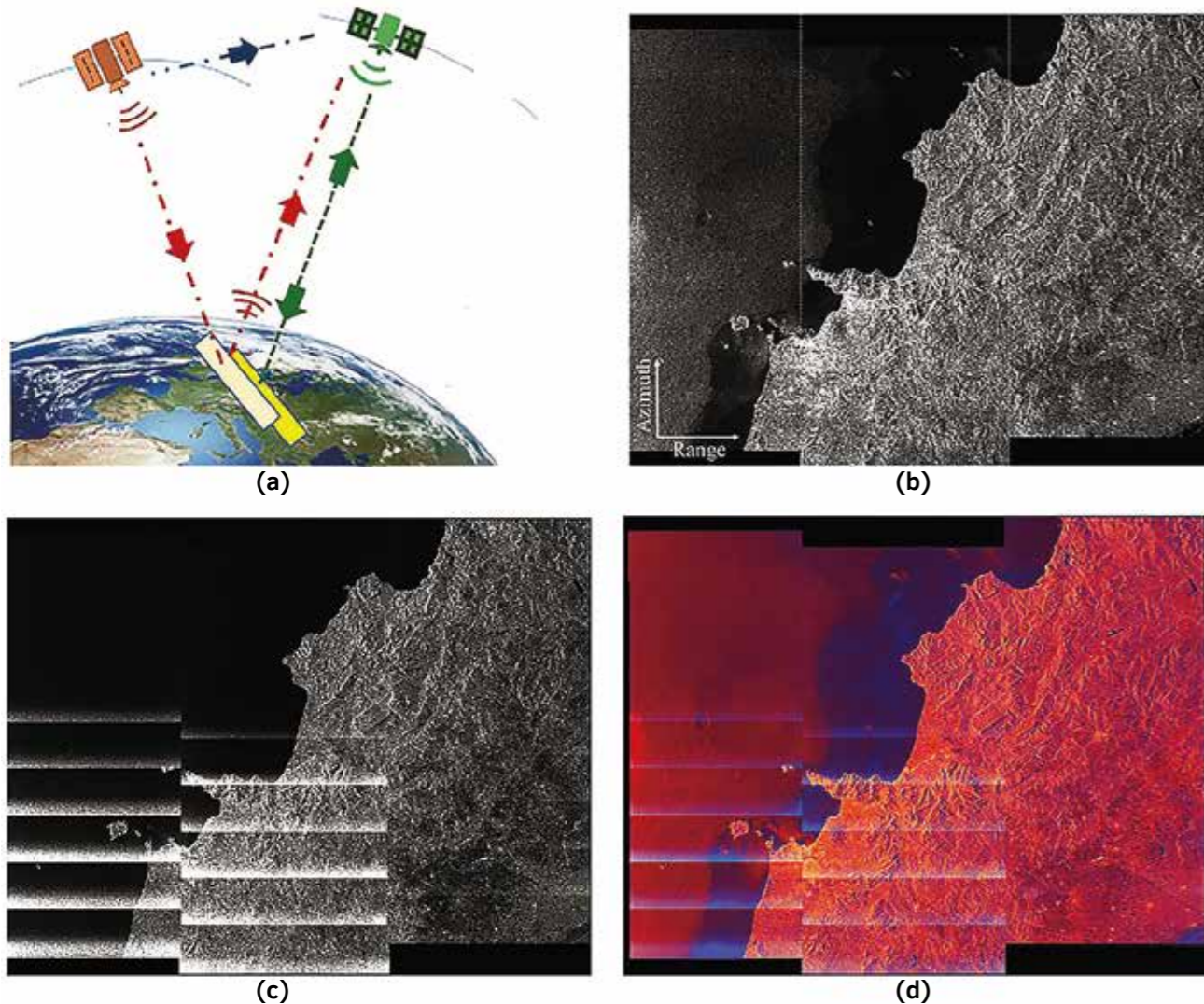
В предельных случаях достаточно иметь «помеховую полосу» лишь на одном витке и использовать ее для наведения других средств воздушно-космического наблюдения, которые позволят получить более точные и достоверные данные по идентификации и местоопределению объектов интереса.

кационных снимках РСА C-SAR имеют место и со стороны других КА РСА, функционирующих в С-диапазоне. Большинство КА РСА находится на примерно одинаковой орбите с разной высотой. В результате имеют место регулярные сближения этих КА с наложением их зон обзора (рис. 9). При работе их РСА в одном и том же диапазоне частот они могут создавать друг другу радиопомехи от отраженных сигналов, аналогичные рассмотренным выше применительно к наземным РЛС. В случае КА РСА Sentinel-1 такие ситуации сближения могут иметь место с КА РСА Radarsat, Radarsat-2, Gaofen-3. Анализ этих ситуаций показал, что точки (области) сближения двух КА РСА равномерно распределены во времени и пространстве. Поэтому, зафиксировав время и место одного рассматриваемого случая сближения, можно автоматически прогнозировать последующие случаи. Сближение пары КА РСА может случиться на разной широте в зависимости от их положения на орбите и параметров орбиты. Количество и пространственная конфигурация точек сближения пары КА РСА определяется циклами повторяемости их орбит. Положение таких сближений зависит от начального сдвига по фазе этих КА на орбите, а также от различия в положении подспутниковых трасс и времени прохождения восходящего узла. Цикл повторяемости орбиты КА – характеристика, используемая при оценке условий формирования требуемой пространственной базы измерений в системах КА РСА, реализующих интерферометрический режим радиолокационной съемки. Условия сближения пары КА РСА в рассматриваемом случае имеют сходство с условиями реализации интерферометрической съемки. Поэтому цикл повторяемости орбиты и в этом случае играет определяющую роль. В [16] проведен детальный анализ условий сближения КА РСА Sentinel-1 и КА РСА Radarsat-1, 2, приводящих к потенциальной угрозе создания взаимных помех (условно назовем их «помеховыми сближениями»).



Рис. 8. Радиолокационный снимок залива Сидра у побережья Ливии с отметками от корабельной РЛС EMPAR на фрегате класса Horizon

Рис. 9. Отметки от межспутниковых помех: а – схема «помехового сближения» пары КА РСА; б – снимок КА РСА Sentinel-1; с, d – «помеховые полосы» от межспутниковых помех



Цикл повторения орбиты КА РСА Radarsat-2 составляет 343 суточных витка (СВ) в течение 24 суток, а для КА РСА Sentinel-1-175 СВ в течение 12 суток. В результате КА РСА Sentinel-1 каждые 24 суток совершает на семь СВ больше, чем КА РСА Radarsat-2. Это приводит к тому, что каждые 24 суток происходит семь их «помеховых сближений» или одно сближение каждые 3,43857 суток. За это время КА РСА Sentinel-1 совершает 50 СВ, а КА РСА Radarsat-2-49 СВ. Из этого следует, что все семь «помеховых сближений» имеют место в одной и той же точке орбиты при одном и том же аргументе широты и на одной и той же широте. Цикл повторения орбиты КА РСА Radarsat со-

ставляет 179 СВ в течение 12 суток, то есть каждые 12 суток он совершает на четыре СВ больше, чем КА РСА Sentinel-1. Поэтому их «помеховое сближение» имеет место четыре раза каждые 12 суток или один раз каждые трое суток. За трое суток КА РСА Sentinel-1 совершает $43 + \frac{3}{4}$ СВ, а КА РСА Radarsat — $44 + \frac{3}{4}$ СВ. Вследствие этого упомянутые четыре «помеховых сближения» имеют место в четырех разных точках орбиты, разнесенных на -90 градусов по аргументу широты на четырех разных широтах. Для орбитальной группировки из двух КА РСА Sentinel-1 и трех КА РСА Radarsat каждые 12 суток имеет место 24 «помеховых сближения», то есть один раз каждые 12 часов.

Возможность межспутниковых помех при радиолокационной съемке в ряде случаев может вносить неопределенность в решение задачи обнаружения и геолокации РЛС по помеховым артефактам на радиолокационных снимках. Это может иметь место в критически важных ситуациях, когда операторы КА РСА и их пользователи решают задачу по мониторингу районов (зон) особого внимания, требующих высокой частоты съемки, но при этом два КА РСА оказываются над этим районом в состоянии «помехового сближения».

Несмотря на исключительный характер подобной ситуации надо иметь в виду, что по мере роста количества КА РСА на орбите будет расти и количество их «помеховых сближений» и расширяться география соответствующих районов, где могут возникнуть межспутниковые помехи. Рассмотренная выше методика оценки условий возникновения «помеховых сближений» КА РСА позволяет не только осуществлять их прогнозирование, но и за счет существующих способов управления КА, рассмотренных в [16], менять их положение на орбите, обеспечивая разнесение своего КА РСА по времени и пространству с «мешающим» КА РСА.

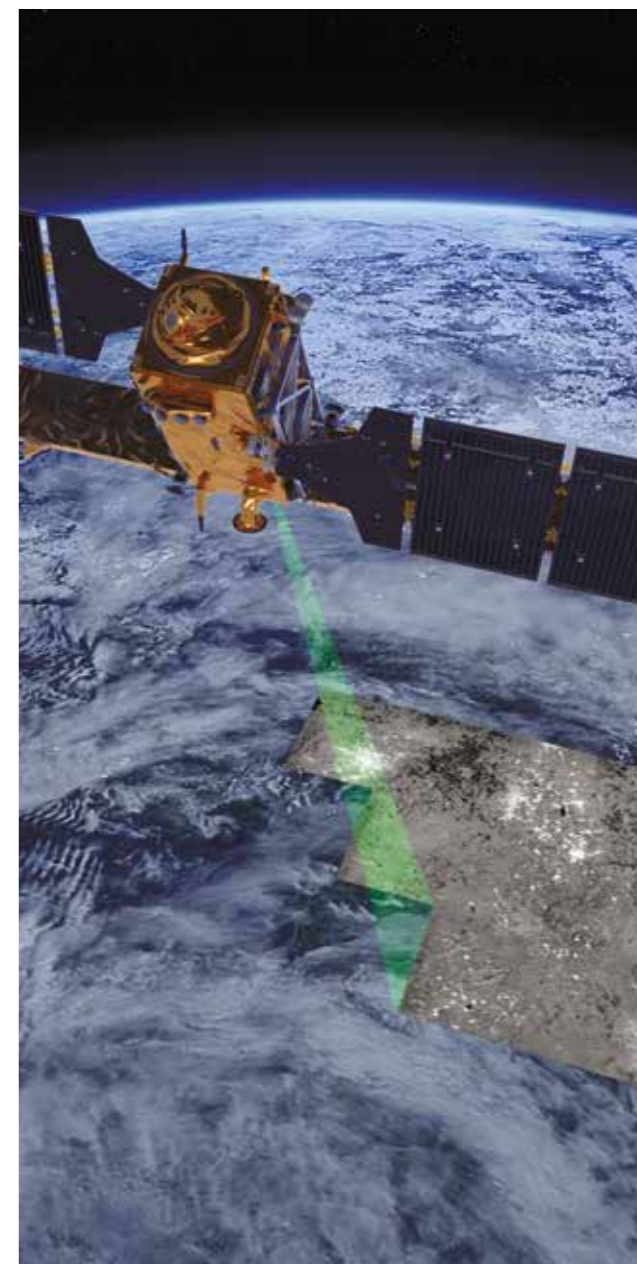
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отметим, что КА РСА Sentinel-1 является мощным источником открытой информации, которая непосредственно не представляет оперативного интереса вследствие низкого разрешения и используется в основном для научных исследований. Однако способ обнаружения и геолокации военных РЛС, установленный Харелом Дано и развиваемый другими исследователями, порождает новые реалии в связи со свободным доступом к РЛИ, особенно в сфере, чувствительной к информации, которую закрывают государственные структуры.

Применение рассмотренного способа мониторинга наземных и корабельных РЛС по артефактам радиопомех, обусловленных попаданием их зондирующих сигналов в приемный тракт РСА, не ограничивается только С-диапазоном. В перспективе можно ожидать его применение и в Х-диапазоне. Это обусловлено, с одной стороны, массированным созданием и применением КА РСА Х-диапазона [1, 2], а с другой стороны – масштабным применением наземных и корабельных РЛС, функционирующих в Х-диапазоне. Потенциально подобный метод может быть

распространен и на станции спутниковой связи Х-диапазона из состава систем DSCS, NATO, Skynet, Siracuse.

Результаты исследований в рассматриваемой области могут быть непосредственно использованы для разработки способов фильтрации радиопомех на космических радиолокационных снимках.



Литература

1. **Клименко Н.Н., Занин К.А.** Новое поколение космических аппаратов для наблюдения за морской обстановкой // Воздушно-космическая сфера. 2019. № 2. С. 72 – 82.
2. **Hermann Jorg.** Perspectives of Satellite SAR remote sensing [Электронный ресурс] // Apogeospatial.com. 2018. August 17. URL: <http://apogeospatial.com/perspectives-on-satellite-sar-remote-sensing/> (Дата обращения: 15.02.2021).
3. **Harel Dan.** X Marks The Spot: Identifying MIM-104 Patriot Batteries From Sentinel-1 SAR Multi-temporal Imagery [Электронный ресурс] // Medium.com. 2018. October 22. URL: <https://medium.com/@HarelDan/x-marks-the-spot-579cdb1f534b> (Дата обращения: 15.02.2021).
4. Sentinel-1 C-SAR interference analysis. Intro [Электронный ресурс] // OSINT Editor. 2020. February 23. URL: <https://www.osinteditor.com/resources/sentinel-1-c-sar-interference-analysis-intro/> (Дата обращения: 15.02.2021).
5. **Matt Korda.** An X reveals a Diamond: locating Israeli Patriot batteries using radar interference [Электронный ресурс] // Fas.org. 2018. November 13. URL: <https://fas.org/blogs/security/2018/11/an-x-reveals-a-diamond-locating-israeli-patriot-batteries-using-radar-interference/> (Дата обращения: 15.02.2021).
6. 5 GIT Demo research [Электронный ресурс] // OSINT Editor. 2020. February 24. URL: <https://www.osinteditor.com/resources/guides/5git-demo-research/> (Дата обращения: 15.02.2021).
7. 5 Ghz interference Tracker [Электронный ресурс] // Earth Engine Apps. URL: <https://orbtwz.users.earthengine.app/view/radarinterferencetracker> (Дата обращения: 15.02.2021).
8. @PutinIsAVirus (2020). Запись в Twitter: 23 января в 08:56 [Электронный ресурс] // Twitter.com. URL: <https://twitter.com/PutinIsAVirus/status/1220223719924170757> (Дата обращения: 15.02.2021).
9. **Kyle Mizokami.** Oops! Civilian Satellite Data Inadvertently Pinpoints Military Radars [Электронный ресурс] // Popular Mechanics. 2018. October 24. URL: <https://www.popularmechanics.com/military/research/a24177291/oops-civilian-satellite-data-inadvertently-pinpoints-military-radars/> (Дата обращения: 15.02.2021).
10. Sentinel-1 and The Mediterranean Sea [Электронный ресурс] // OSINT Editor. 2020. February 23. URL: <https://www.osinteditor.com/researches/sentinel-1-detectable-the-mediterranean-sea/> (Дата обращения: 15.02.2021).
11. Sentinel-1 and the Seas of Japan [Электронный ресурс] // OSINT Editor. 2020. February 23. URL: <https://www.osinteditor.com/researches/sentinel-1-and-the-seas-of-japan/> (Дата обращения: 15.02.2021).
12. OSINT-Radar-Affecting-SAR-Satellite-Images [Электронный ресурс] // Hisutton.com. 2020. November 16. URL: <http://www.hisutton.com/OSINT-Radar-Affecting-SAR-Satellite-Images.html> (Дата обращения: 15.02.2021).
13. Hidden Threat to Navies: How Freely Available Satellite Imagery Can Track Radar [Электронный ресурс] // Naval News. 2020. December 09. URL: <https://www.navalnews.com/naval-news/2020/12/hidden-threat-to-navies-how-freely-available-satellite-imagery-can-track-radars/> (Дата обращения: 15.02.2021).
14. H I Sutton @CovertShores (2020). Запись в Twitter: 26 ноября [Электронный ресурс] // Twitter.com. URL: <https://twitter.com/covertshores/status/1331990675290722305> (Дата обращения: 15.02.2021).
15. **H. Yang, M. Tao, S. Chen, F. Xi and Z. Liu** (2020). On the Mutual Interference Between Spaceborne SARs: Modeling, Characterization, and Mitigation, in IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. DOI: 10.1109/TGRS.2020.3036635
16. **Saini O., Bhardwaj A., Chatterjee R.** (2020). Radio Frequency Interference Pattern Detection from Sentinel-1 SAR Data using U-NET-Like Convolutional neural network [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/345162864_Radio_Frequency_Interference_Pattern_Detection_from_Sentinel-1_SAR_Data_Using_U-NET-Like_Convolutional_Neural_Network (Дата обращения: 15.02.2021).

References

1. **Klimenko N.N., Zanin K.A.** Novoe pokolenie kosmicheskikh apparatov dlya nablyudeniya za morskoy obstanovkoy. *Vozdushno-kosmicheskaya sfera*, 2019, no. 2, pp. 72 – 82.
2. **Hermann Jorg.** Perspectives of Satellite SAR remote sensing. *Apogeospatial.com*. 2018. August 17. Available at: <http://apogeospatial.com/perspectives-on-satellite-sar-remote-sensing/> (Retrieval date: 15.02.2021).
3. **Harel Dan.** X Marks The Spot: Identifying MIM-104 Patriot Batteries From Sentinel-1 SAR Multi-temporal Imagery. *Medium.com*. 2018. October 22. Available at: <https://medium.com/@HarelDan/x-marks-the-spot-579cdb1f534b> (Retrieval date: 15.02.2021).
4. Sentinel-1 C-SAR interference analysis. Intro. *OSINT Editor*. 2020. February 23. Available at: <https://www.osinteditor.com/resources/sentinel-1-c-sar-interference-analysis-intro/> (Retrieval date: 15.02.2021).
5. **Matt Korda.** An X reveals a Diamond: locating Israeli Patriot batteries using radar interference. *Fas.org*. 2018. November 13. Available at: <https://fas.org/blogs/security/2018/11/an-x-reveals-a-diamond-locating-israeli-patriot-batteries-using-radar-interference/> (Retrieval date: 15.02.2021).
6. 5 GIT Demo research. *OSINT Editor*. 2020. February 24. Available at: <https://www.osinteditor.com/resources/guides/5git-demo-research/> (Retrieval date: 15.02.2021).
7. 5 Ghz interference Tracker. *Earth Engine Apps*. Available at: <https://orbtwz.users.earthengine.app/view/radarinterferencetracker> (Retrieval date: 15.02.2021).
8. @PutinIsAVirus (2020): January 23. 08:56. *Twitter.com*. Available at: <https://twitter.com/PutinIsAVirus/status/1220223719924170757> (Retrieval date: 15.02.2021).
9. **Kyle Mizokami.** Oops! Civilian Satellite Data Inadvertently Pinpoints Military Radars. *Popular Mechanics*. 2018. October 24. Available at: <https://www.popularmechanics.com/military/research/a24177291/oops-civilian-satellite-data-inadvertently-pinpoints-military-radars/> (Retrieval date: 15.02.2021).
10. Sentinel-1 and The Mediterranean Sea. *OSINT Editor*. 2020. February 23. Available at: <https://www.osinteditor.com/researches/sentinel-1-detectable-the-mediterranean-sea/> (Retrieval date: 15.02.2021).
11. Sentinel-1 and the Seas of Japan. *OSINT Editor*. 2020. February 23. Available at: <https://www.osinteditor.com/researches/sentinel-1-and-the-seas-of-japan/> (Retrieval date: 15.02.2021).
12. OSINT-Radar-Affecting-SAR-Satellite-Images. *Hisutton.com*. 2020. November 16. Available at: <http://www.hisutton.com/OSINT-Radar-Affecting-SAR-Satellite-Images.html> (V: 15.02.2021).
13. Hidden Threat to Navies: How Freely Available Satellite Imagery Can Track Radar. *Naval News*. 2020. December 09. Available at: <https://www.navalnews.com/naval-news/2020/12/hidden-threat-to-navies-how-freely-available-satellite-imagery-can-track-radars/> (Retrieval date: 15.02.2021).
14. H I Sutton @CovertShores (2020). November 26. *Twitter.com*. Available at: <https://twitter.com/covertshores/status/1331990675290722305> (Retrieval date: 15.02.2021).
15. **H. Yang, M. Tao, S. Chen, F. Xi and Z. Liu** (2020). On the Mutual Interference Between Spaceborne SARs: Modeling, Characterization, and Mitigation, in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. DOI: 10.1109/TGRS.2020.3036635
16. **Saini O., Bhardwaj A., Chatterjee R.** (2020). Radio Frequency Interference Pattern Detection from Sentinel-1 SAR Data using U-NET-Like Convolutional neural network. Available at: https://www.researchgate.net/publication/345162864_Radio_Frequency_Interference_Pattern_Detection_from_Sentinel-1_SAR_Data_Using_U-NET-Like_Convolutional_Neural_Network (Retrieval date: 15.02.2021).

© Занин К.А., Клименко Н.Н., 2021

История статьи:

Поступила в редакцию: 21.01.2021
Принята к публикации: 11.12.2021

Модератор: Гесс Л.А.

Конфликт интересов: отсутствует

Для цитирования:

Занин К.А., Клименко Н.Н. Новый подход к обнаружению наземных и корабельных радиолокационных систем С-диапазона // Воздушно-космическая сфера. 2021. № 1. С. 68 – 79.