

Исследование отражательных свойств ярких точечных отражателей в зоне линейной промышленной инфраструктуры в Якутии

А.И. Захаров, Л.Н. Захарова

*Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН (ФИРЭ им. В.А.Котельникова РАН)
141190 Фрязино Московской области, пл. Введенского, 1
E-mail: aizakhar@sunclass.ire.rssi.ru*

Исследованы отражательные свойства группы ярких точечных целей, расположенных вдоль линейной промышленной инфраструктуры на юге Якутии. Показано, что исследованные объекты обладают схожими значениями эффективной площади рассеяния, для них характерна высокая долговременная стабильность отражения. Предположительно, это уголкового отражатели с длиной ребра порядка 1 м. которые могут быть использованы для радиометрической калибровки космических радаров с синтезированной апертурой.

Ключевые слова: радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА), эффективная поверхность рассеяния (ЭПР), радиометрические свойства, уголкового отражатели, Sentinel-1

Study of the scattering properties of bright point targets in the zone of linear industrial infrastructure in Yakutia

A.I. Zakharov, L.N. Zakharova

Fryazino branch of Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics, RAS (Kotelnikov FIRE RAS).

The scattering properties of a group of bright point targets located in the zone of linear industrial infrastructure to the south of Yakutia were studied. It was shown that the studied objects possess similar level of the radar cross section, they are characterized by high long-term stability of the backscatter. Presumably, these are corner reflectors with 1 m edge length. These objects may be used for radiometric calibration of spaceborne synthetic aperture radars.

Keywords: synthetic aperture radar (SAR), radar cross section (RCS), radiometric properties, corner reflectors, Sentinel-1

Введение

Радиометрическая калибровка радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА) — это ответственный этап в его подготовке к штатной эксплуатации. Качественная калибровка — залог надежных измерений отражательных свойств подстилающих покровов. Обычной практикой в дистанционном зондировании Земли является проведение радиометрической калибровки аппаратуры РСА с помощью специализированных эталонных устройств — уголкового отражателей или активных приемо-передатчиков (транспондеров). Необходимость проведения наземных полигонных мероприятий по установке и наведению специализированных отражателей является довольно хлопотным и зачастую дорогостоящим мероприятием. Потому наряду с искусственными эталонными отражателями представляется весьма перспективным использование для целей калибровки иных, не планировавшихся заранее объектов с высоким уровнем эффективной площади рассеяния (ЭПР). Причиной появления ярких точечных откликов на снимках РСА могут быть разнообразные объекты, расположенные на поверхности Земли, как правило, элементы хозяйственной инфраструктуры. К

типичным механизмам, вызывающим рассеяние на таких объектах, можно отнести двойное переотражение (стена здания – земная поверхность), однократное отражение (крыши зданий), уголковое отражение (стены внутреннего угла дома - земная поверхность), дипольное рассеяние (элементы конструкции опор ЛЭП). В ряде работ проводилась попытка использовать различные естественные точечные и протяженные объекты для радиометрической калибровки [1–4]. Обнаружено, что на урбанизированных территориях встречаются весьма стабильные отражатели, вариации уровня ЭПР которых лучше 0,4 дБ, что делает эти объекты также удобным средством контроля стабильности РСА. Хотя зачастую ЭПР таких объектов не может быть посчитана исходя из модельных представлений, однако она может быть оценена по измерениям других сенсоров с аналогичными параметрами, проводивших измерения в подобной геометрии съемки, что позволяет проводить интеркалибровку, а также мониторинг стабильности работы РСА. В данной работе обсуждаются уникальные свойства некоторых элементов промышленной линейной инфраструктуры в Якутии для радиометрической калибровки РСА.

Область исследования и использованные данные

В работе исследованы отражательные свойства выявленного нами в южной части в Якутии набора ярких объектов вдоль некоторой линейной хозяйственной инфраструктуры. На рис. 1 приведен фрагмент радиолокационного изображения области интереса с 13 яркими точечными целями, сделанного РСА Sentinel-1. Длина волны сигнала этого РСА равна 5,6 см, угол падения волн в пределах фрагмента снимка равен 44° . Псевдоцветное изображение на этом рисунке получено комбинированием изображений, полученных на поляризациях VV и HV.

Для оценки влияния возможных сезонных эффектов, включая особенности метеорологической обстановки в течение года, были взяты 29 снимков, сделанных в 2020 году с шагом 12 дней по времени. На радиолокационных снимках уровня обработки GRD с размером пиксела 10×10 м было проведено интегрирование мощности отраженного сигнала в окне 3×3 пиксела вокруг каждой яркой цели, после чего в соответствии с рекомендациями [5] была вычислена ЭПР ярких объектов.

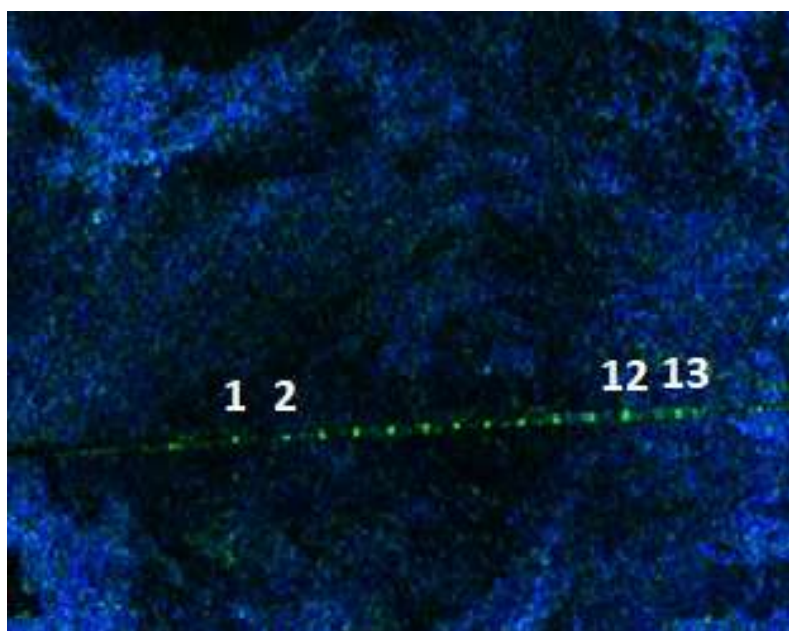


Рис. 1. Радиолокационное изображение с 13 яркими точечными целями

Анализ результатов

На графике рис. 2 приведены вариации ЭПР 13 целей в течение года. Отметим, что у большинства целей временная стабильность ЭПР достаточно близка и высока, кроме цели №2, которая далее была исключена из обработки.

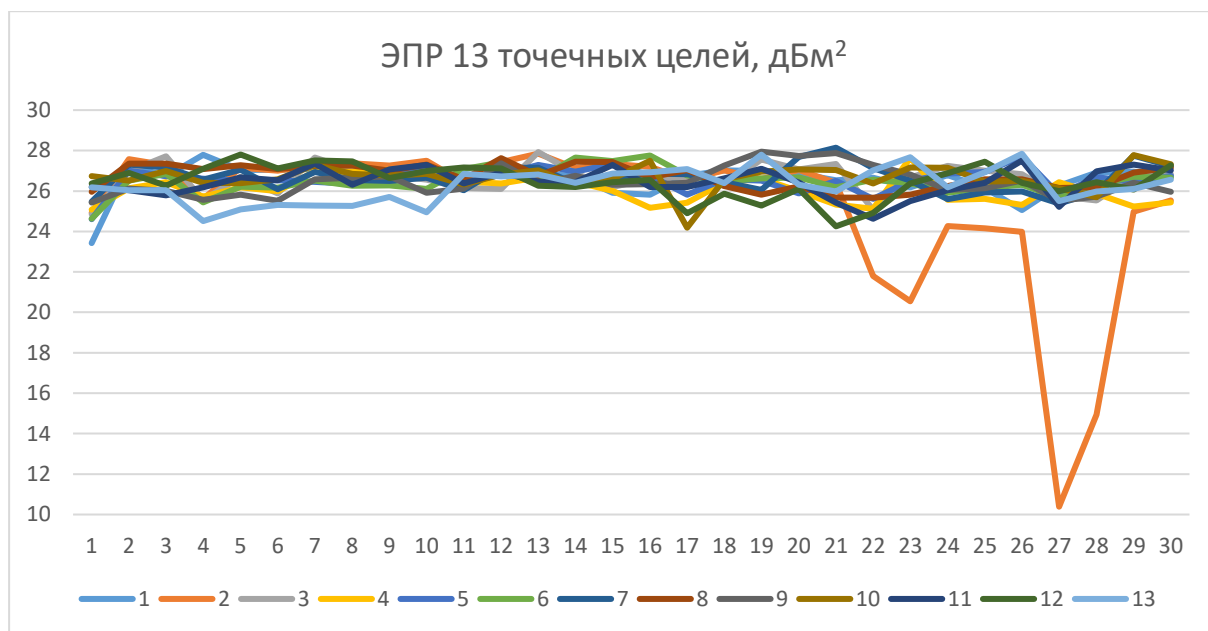


Рис. 2. Вариации ЭПР 13 точечных целей в течение года

На рис. 3 показаны изменение среднего и дисперсии ЭПР 12 оставшихся целей в 29 съемках. Судя по измерениям, среднее значение ЭПР по 12 целям в С-диапазоне в течение года довольно стабильно и находится на уровне 26,5 дБм² с небольшим спадом к концу года, а с.к.о. в среднем равно 0,64 дБ. Стабильность ЭПР снижается ближе к осени вследствие, вероятно, наступления дождливого сезона (после съёмки 17).

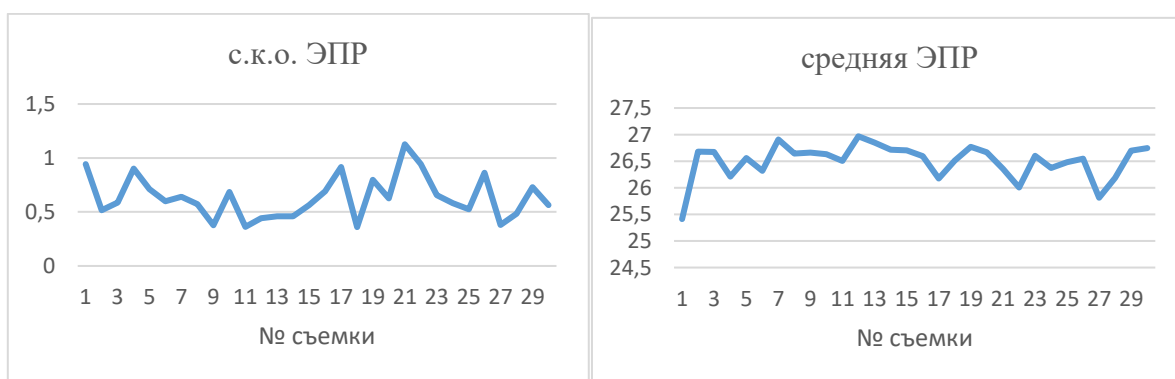


Рис. 3. С.к.о. (слева) и средняя ЭПР (справа) по 12 целям, дБм², 29 съемках

На следующих двух графиках на рис. 4 показаны среднее и с.к.о. каждой из 12 целей на годичном интервале наблюдений. В среднем, ЭПР находится также на уровне 26,5 дБм² (см. рис. 4 справа), но у группы из трёх последних целей она несколько ниже из-за, вероятно, их конструктивных особенностей. Отражение средней группы целей оказывается более стабильным, чем у целей на краях цепочки (см. рис. 4 слева), вероятно, из-за особенностей сезонного влияния подстилающей поверхности.

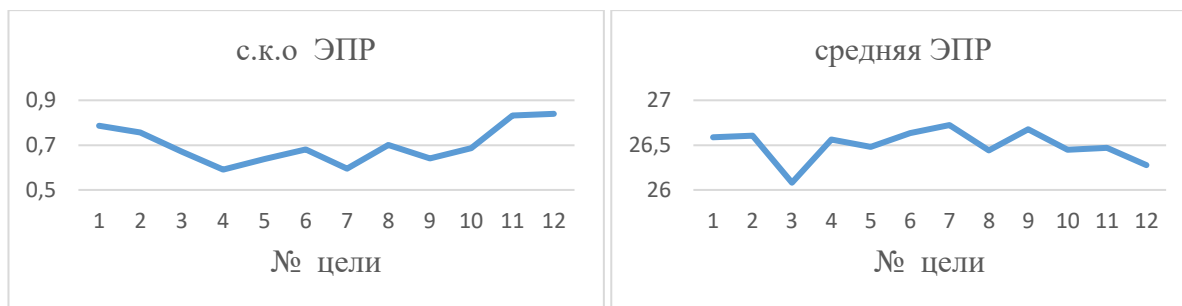


Рис. 4. С.к.о. (слева) и средняя ЭПР (справа) 12 целей за год, дБм²

Вопрос о действительной конструкции целей остается открытым, однако можно предположить, что это трехгранные уголкового отражатели с длиной ребра 1 м, подобные тем, что описаны в работе [6]. ЭПР таких уголков, в соответствии с известной формулой [6], равна 31,3 дБм², что на 5 дБ больше измеренной. Вероятной причиной является то, что направление прихода сигнала РСА отличается от направления электрической оси (оси симметрии) уголкового отражателя.

В работе [7] приведено упрощенное выражение для угловой зависимости ЭПР уголка в функции угла φ между электрической осью и направлением на спутник, лежащим в угломестной плоскости, а также азимутальным углом θ между проекцией электрической оси на нижнюю грань и направлением на подспутниковую точку. Выражение для нормированной диаграммы направленности в соответствии с приближением геометрической оптики описывается следующим выражением:

$$NRCS(\varphi, \theta) \approx \{\cos \theta + \sin \theta (\cos \theta + \sin \theta) - 2[\cos \theta + \sin \theta (\cos \theta + \sin \theta)]^{-1}\}^2. \quad (1)$$

На рис. 5 сплошной линией показана диаграмма, рассчитанная для азимутального угла $\theta = 0$ в соответствии с приближением геометрической оптики, а пунктирной — физической оптики из [8].

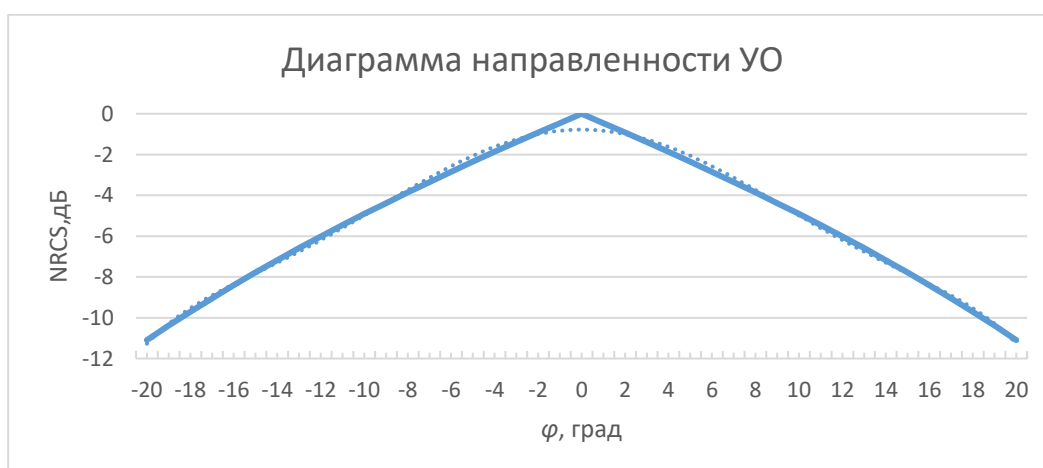


Рис. 5. Угловая диаграмма направленности трехгранного уголкового отражателя

Поскольку угол между электрической осью трехгранного уголкового отражателя и его нижней гранью равен 32,5°, а угол скольжения сигнала РСА равен 46°, угол между электрической осью и направлением на радар равен 13,5°. В соответствии с диаграммой направленности в приближении физической оптики, падение ЭПР составит 5,8 дБ, что близко к падению измерений ЭПР на снимках РСА на 5 дБ.

Заключение

Элементы линейной инфраструктуры в Якутии, выглядящие на радиолокационных изображениях яркими точечными объектами, демонстрируют высокую стабильность и близкий к теоретическому для угловых отражателей уровень ЭПР. Если, действительно, нижняя грань этих предположительных угловых отражателей параллельна земной поверхности, отклонение угла скольжения сигнала РСА от 32.5° будет приводить к падению ЭПР. При угле скольжения более 50° (или угле падения волн менее 40°) снижение ЭПР превысит 10 дБ, что может сделать невозможным использование этих объектов для радиометрической калибровки.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН.

Литература

1. Захаров А.И., Сорочинский М.В., Захарова Л.Н., Иванычев Е.Е. Использование ярких точечных целей на радарных снимках для калибровки РСА // XI Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: труды конф., - Москва: ИКИ РАН, 2013. (CD ROM).
2. Захаров А.И., Сорочинский М.В., Захарова Л.Н., Иванычев Е.Е. Применение естественных точечных и протяженных объектов для радиометрической калибровки РСА// IV Всероссийские Арmandовские чтения «Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред»: труды конф., Муром: Изд. - полиграфический центр МИ ВлГУ, 2014. С. 230-235. (CD-ROM).
3. Захаров А.И., Захарова Л.Н., Синило В.П., Сорочинский М.В., Иванычев Е.Е. Поиск стабильных отражателей на радарных снимках для калибровки космических РСА// XII Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: труды конф., - Москва: ИКИ РАН, 2014. (CD ROM).
4. Захаров А.И., Захарова Л.Н., Синило В.П., Иванычев Е.Е., Сорочинский М.В. Методика поиска стабильных отражателей для калибровки космических РСА// VIII Всероссийская научно-техническая конференция «Радиолокация и радиосвязь»: труды конф., - Москва: ИРЭ РАН, 2014. С. 231-236.
5. Miranda N., Meadows P.J. Radiometric Calibration of S-1 Level-1 Products Generated by the S-1 IPF/ Technical Note ESA-EOPG-CSCOP-TN-0002, ESA, 21.05.2015.
6. Добрынин И.И., Песяк Ф.В., Савин А.И., Севастьянов Н.Н. Измерение смещений земной поверхности методом радиолокационной интерферометрии с применением угловых отражателей радиосигнала// Совр. проблемы ДЗЗ из космоса. 2017. Т. 14. № 5. С. 113–121.
7. Ruck G.T. Radar Cross Section Handbook. New York: Plenum Press, 1970, pp. 588-597.
8. Sarabandi K., Chiu T. Optimum Corner Reflectors for Calibration of Imaging Radars// IEEE Trans. Antennas and Propagation. 1996. Vol. 44. No. 10. P. 1348–1361.