

Предварительный анализ экспериментальных HV и VH изображений поляриметрической самолетной РСА Р-диапазона

А.А.Калинкевич¹, Б.Г.Кутуза¹, В.Ю.Манаков², Д.П. Егоров¹, В.А.Плющев²

¹Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН
125009, г. Москва, ул. Моховая, 11, корпус 7.

E-mail: kalinkevich@cplire.ru

²Акционерное общество «Концерн радиостроения «Вега»
121170, г.Москва, Кутузовский проспект, 34.

E-mail: mail@vega.su

В настоящее время отсутствуют эксперименты по исследованию отражательных свойств земных поверхностей с помощью космических длинноволновых поляриметрических радиолокаторов с синтезированной апертурой на HV и VH поляризациях. Одновременно с этим, авторам представленной работы не известны анализы принципа взаимности кросс поляризационных радиолокационных изображений на HV и VH. В данной работе предпринята попытка использовать самолетные РЛИ на HV и VH поляризациях в Рдиапазоне для изучения принципа взаимности. Использовались результаты одновременной съемки на всех поляризациях в Рдиапазоне земной поверхности с борта самолета. Для оценки взаимности изображений на HV и VH была предложена методика, основанная на корреляционной обработке РЛИ. Предварительный анализ экспериментальных данных показал, что величина взаимности РЛИ изображений на HV и VH поляризаций зависит от технических характеристик аппаратуры, условий проведения эксперимента, а также вида подстилающей поверхности. Ключевые слова: радиолокатор с синтезированной апертурой, взаимность радиолокационных изображения на HV и VH поляризациях, технические характеристики радара, скорость носителя.

Preliminary analysis of experimental HV and VH images from polarimetric aircraft synthetic aperture radar of P-band

A.A. Kalinkevich¹, B.G. Kutuza¹, V.Yu. Manakov², D.P. Egorov¹, V.A. Plyushchev²

¹Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics of RAS.

²“Vega” Radio Engineering Group of Companies.

Currently, there are no experiments to study the reflective properties of Earth's surfaces using space-based long-wave polarimetric radars with a synthesized aperture at HV and VH polarizations. At the same time, the authors are not aware of experiments on the experimental study of the principle of reciprocity of cross-polarizing radar images on HV and VH. In this paper, an attempt is made to use aircraft radar on HV and VH polarizations in the P and L ranges to study the principle of reciprocity. We used the results of simultaneous shooting at all polarizations in the P range of the earth's surface from the aircraft. To assess the reciprocity of images on HV and VH, a technique was proposed based on the correlation properties of RLI. A preliminary analysis of the experimental data shows that the magnitude of the reciprocity of the radar images on the HV and VH polarizations significantly depends on the technical characteristics of the equipment and the conditions of the experiment. Keywords: synthesized aperture radar, reciprocity of radar images on HV and VH polarizations, technical characteristics of the radar.

Введение

Космические поляриметрические радиолокационные станции с синтезированной апертурой (РСА) широко применяются для дистанционного изучения земных покровов. Несмотря на то, что длинноволновый дециметровый диапазон перспективен для такого применения, при рассмотрении его использования возникают вопросы, связанные с

влиянием ионосферы Земли [1, 2]. Цель этих работ связана с возможностью использования РЛИ РСА для измерения интегральной концентрации электронов на трассе спутник-Земля [2], а также калибровки поляриметрических РСА длинноволнового диапазона [1].

Многочисленные работы, касающиеся этой проблемы, предполагают, что

А) Соблюдается принцип взаимности отражения электромагнитных волн от земной поверхности для кросс поляризационных компонент в матрице отражения от Земли, невзирая на тип поверхности

$$L = \begin{pmatrix} L_{hh} & L_{hv} \\ L_{vh} & L_{vv} \end{pmatrix}, \text{ т.е. } L_{hv} \equiv L_{vh}$$

Б) Измерение матрицы обратного отражения **S** осуществляется для неподвижного носителя;

В) Мелкомасштабные неоднородности ионосферы в период измерения не меняются.

В основу решения этого вопроса авторы берут угол поворота плоскости поляризации плоско поляризованной волны на трассе спутник-Земля-спутник. Сдерживающим фактором проверки правильности теоретических исследований является то, что до настоящего времени не было ни одного космического эксперимента, выполненного с помощью длинноволновой РСА.

Анализ самолетных кросс поляризационных РЛИ

Внимательное рассмотрение РЛИ показывает, что на HV и VH поляризациях в формате амплитуды они не идентичны. В качестве примера, на рис.1 для сравнения представлены одни и те же фрагменты РЛИ Р диапазона, снятые одновременно в одном заходе на HV и VH.

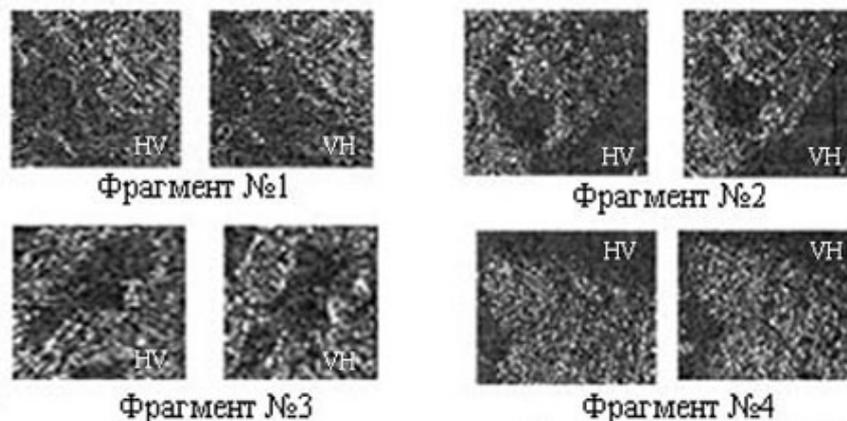


Рис.1. Фрагменты РЛИ в Р диапазоне сняты одновременно в одном заходе на HV и VH с интервалом, равным периоду повторения зондирующих импульсов.

Фрагменты на HV и VH, представленные на рис.1,получаются через интервал времени, соответствующий периоду повторения зондирующих сигналов на H и V поляризациях (смещение носителя за это время составляло порядка 2-х метров). Если различия в РЛИ мелких элементов можно было бы отнести к влиянию перемещения РСА за этот период, то изменение очертаний неоднородностей не укладывается в такое объяснение. Таким образом, проводить сопоставление взаимности кросс поляризационных компонент РЛИ по пикселям не имеет смысла.

Элементы матрицыL и экспериментально измеренные значения РЛИ

$$S = \begin{pmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{pmatrix}$$

являются комплексными величинами. На данном этапе исследования мы предположили, что принцип взаимности комплексных радиолокационных изображений s_{hv} и s_{vh} можно распространить как на РЛИ в формате амплитуды (А), так и в формате фазы (φ). Данное предположение выдвинуто с целью упростить рассмотрение получаемых результатов для лучшего понимания. Реально требуется проводить анализ этих компонент в формате комплексных значений $A_{hv}e^{i\varphi_{hv}}$ и $A_{vh}e^{i\varphi_{vh}}$. Коэффициент корреляции также оказывается комплексным. Сопоставление тоже придется проводить на основании реальной и мнимой частей.

Прежде чем переходить к анализу, было решено исследовать получаемые РЛИ в формате интенсивности и фазы. Кратко о параметрах изображений в Р диапазоне. В Рдиапазоне: размер пикселя 8 метров как по дальности, так и по азимуту; частота повторения излучения менялась таким образом, чтобы изображения НVи VНполяризацій за счет движения самолета получались через $l_{\lambda=0,68м} = 2м$ (изменение размера перекрытия зон облучения составляло ~25%).

Методика исследования радиолокационных изображений

В качестве исходных данных брались РЛИ в формате интенсивности или фазы, совмещенные до одного пикселя. На фрагментах РЛИ в формате интенсивности в любом месте выбирался участок произвольной величины и формы см.рис.2.

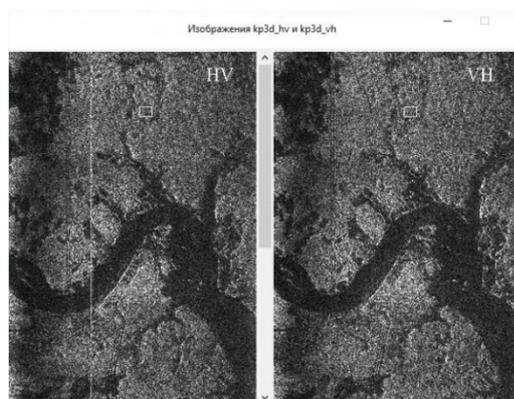


Рис.2 Фрагменты РЛИ Р диапазона в формате интенсивности для НV и VНполяризацій с выделенным участком.

В результате можно вычислить

- а) Значение коэффициента корреляции изображений в выделенном участке РЛИ;
- б) Перемещение выделенной области на одном из изображений по дальности (х) или по азимуту(у) позволяло получить функции корреляции по х или у;
- в) Определение коэффициента корреляции при одновременном перемещении выбранного участка по обоим РЛИ позволяет выявить флуктуации коэффициента корреляции НV и VН изображений по дальности и азимуту. Эта операция позволяет выяснить возможное влияние вида подстилающей поверхности на взаимность кросс поляризационных изображений.

Исследования взаимности РЛИ на кросс поляризациях основывались на методах корреляционной обработки сигналов. Такой подход позволил исключить влияние технических различий РСА трактов на Н и V поляризациях при одинаковой обработке

голографических данных HV и VH поляризации. В результате на взаимность кросс поляризационных компонент РЛИ могут оказать влияние:

1) Движение носителя - изображения на HV и VH поляризациях получаются неодновременно, а со временным сдвигом, равным периоду посылки импульсов. Изображения на HV и VH поляризациях получаются от различных участков земной поверхности, сдвинутых на расстояние, соответствующее перемещению носителя за время одного периода излучения импульсов РСА. Можно предположить, что максимальное значение коэффициента корреляции уменьшится на величину изменения площадей перекрытия. Для нашего случая оценки показывают, что это может оказаться в районе 15-20%.

2) Отсутствие твердого доказательства взаимности изображений на HV и VH поляризациях. Данное предположение можно проверить по измерениям значений коэффициента корреляции от разных объектов. Наиболее убедительно это можно выполнить по измерениям коэффициентов корреляции от разных объектов, расположенных на разных расстояниях по дальности, для одного и того же фрагмента изображения. Как отмечалось ранее, сопоставление изображений на HV и VH поляризациях в амплитудном формате по очень малому выбранному участку будет приводить к большим флуктуациям. Поэтому размер по усреднению соответствовал окну на изображениях, состоящему из 1000 – 3000 пикселей.

Результаты исследований

Как отмечалось выше, анализ выполнялся для результатов радиолокационных изображений в формате интенсивности и фазы. На рис.3 (в качестве примера) представлены функции корреляции по дальности (x) изображений в формате интенсивности и фазы для HV и VH поляризации (окно для усреднения примерно 3000 пикселей).

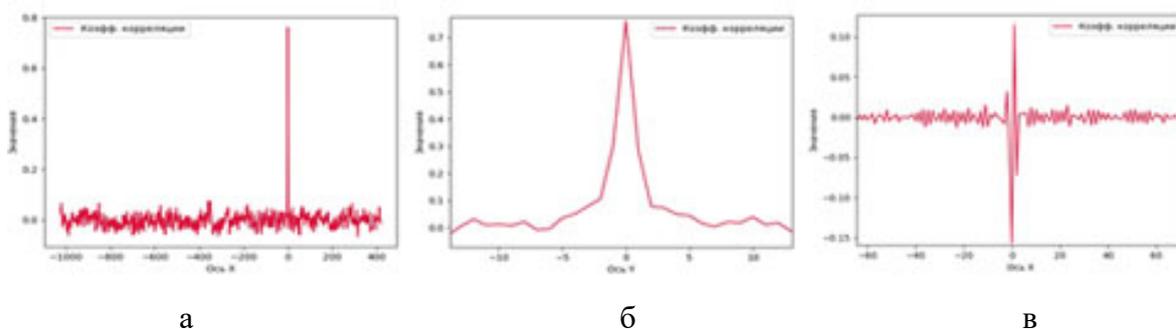


Рис.3. Функции корреляции по дальности для изображений HV и VH поляризации по одной строке в формате интенсивности (а), в увеличенном масштабе (б) и в формате фазы (в) (окно для усреднения ~3000 пикселей).

Форма и интенсивность полученных зависимостей меняется от типа поверхности. Максимальное значение коэффициента корреляции в формате интенсивности не превышало ~0,83, а в формате фазы абсолютного значения >0,3. Согласно таблице Чеддока[3] корреляция по фазе между РЛИ на HV и VH поляризациях отсутствует.

Так как принимаемые сигналы являются комплексными по своей природе, то оценку взаимности кросс поляризационных компонент можно провести непосредственно в формате комплексных величин по Пирсону. Функция корреляции является комплексной величиной. Она состоит из реальной и мнимой компонент (в качестве примера см. рис.4а.). Аналогично тому, как строится РЛИ в формате амплитуды, вычисляется функция корреляции кросс поляризационных компонент в формате амплитуды см. рис.4б.

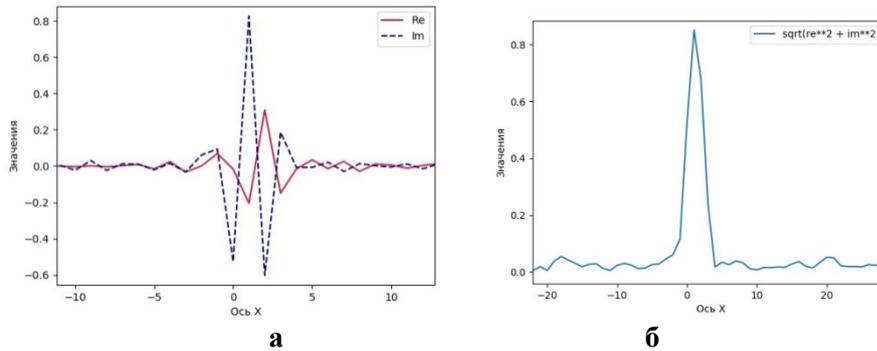


Рис.4. Фрагменты реальной и мнимой частей (а) и амплитуда корреляционной функции по дальности кросс поляризационных изображений на HV и VH поляризациях.

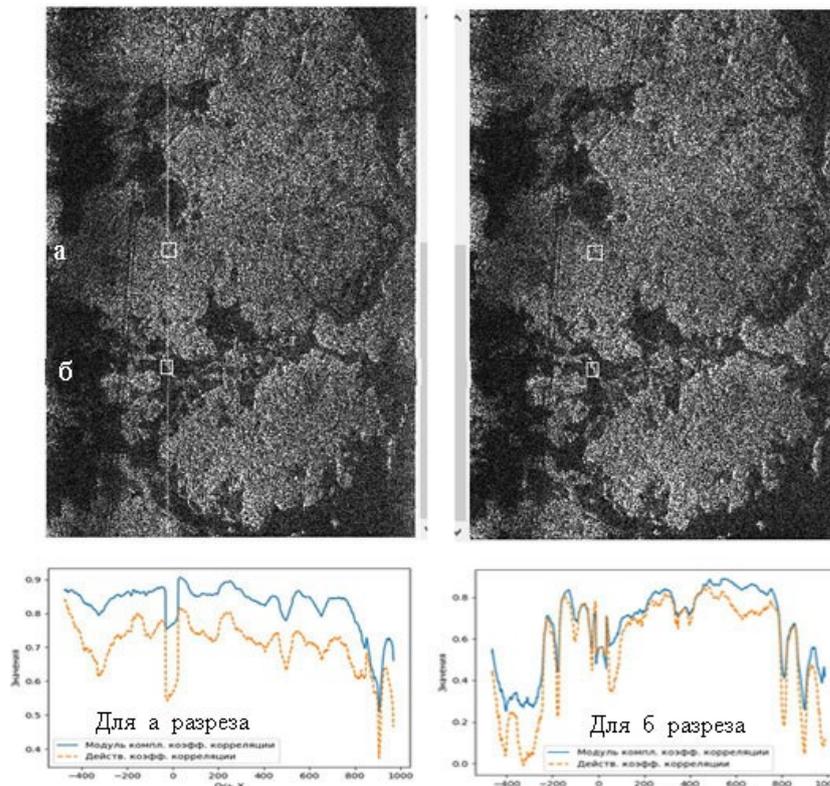


Рис.5. Зависимость коэффициента корреляции по дальности для амплитуды РЛИ изображения и для амплитуды комплексного изображения, соответствующих двум положениям самолета.

На рис. 5 представлены зависимость коэффициента корреляции РЛИ в формате амплитуды и, для сравнения, зависимость амплитуды комплексного коэффициента корреляции от дальности для изображений на HV и VH поляризациях при двух (а и б) положениях самолета. Несмотря на качественное совпадение, количественно они различаются.

Заключение

Предварительные исследования взаимности РЛИ на кросс HV и VH поляризациях показали, что изображения не идентичны. Разность объясняется:

- 1) Во-первых, движением самолета. В результате коэффициенты корреляции не достигают величины единицы;
- 2) Во-вторых, коэффициент корреляции зависит от типа подстилающей поверхности. Полученные результаты требуют дополнительных исследований.

Работа выполнена за счет бюджетного финансирования в рамках госзадания по теме 0030-2019-0008 “Космос” и при поддержке РФФИ (проект № 20-02-00703).

Литература

[1] A.Freeman. Calibration of Linearly Polarimetric SAR Data Subject to Faraday Rotation. IEEE Tran.Geoscien. andRem. Sensing, Vol.42, No 8, P.1617-1624.

[2] Арманд Н.А., Захаров А.И. Применение радаров с синтезированной апертурой для измерения угла поворота плоскости поляризации из-за эффекта фарадея. Радиотехника и электроника, 2006, Т.51, №10, С.1210-1217.

[3] Chaddock R.E. Principles and methods of statistics. Houghton Mifflin, 1925. - 471 p.