

## **Влияние первичной обработки голографических данных РСА на результаты интерпретации радиолокационных изображений**

А.А. Калинин<sup>1</sup>, Б.Г.Кутуза<sup>1</sup>, В.А. Плющев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН  
125009, Москва, ул. Моховая 11, корп.7  
E-mail: [kalinkevich@cplire.ru](mailto:kalinkevich@cplire.ru)*

<sup>2</sup> *Акционерное общество «Концерн радиостроения «Вега»  
121170, Москва, Кутузовский просп., 34  
E-mail: [mail@vega.su](mailto:mail@vega.su)*

*Методы обработки голографических данных при получении радиолокационных изображений могут влиять на результаты тематической интерпретации. Особенности получения радиолокационных изображений приводят не только к трудно объяснимым результатам тематической интерпретации, но и к сложностям сопоставления результатов радиолокационных исследований.*

*Ключевые слова: голографические данные, радиолокационные изображения, первичная, обработка, интерпретация*

## **The influence of primary processing of holographic data from SAR on the results of radar images interpretation**

A.A. Kalinkevich, B.G. Kutuza, V.A. Plyushev

<sup>1</sup> *Kotel'nikov Institute of Radioengineering and electronics of RAS*

<sup>2</sup> *Vega Radio Engineering Corporation*

*Methods for processing holographic data when obtaining radar images can affect the results of thematic interpretation. The peculiarities in obtaining radar images lead not only to the thematic interpretation results which are difficult to explain, but also to the difficulties of comparing the results of radar studies.*

*Keywords: holographic data, radar images, primary processing, interpretation*

### **Введение**

Одним из основных аспектов построения радиолокационной станции бокового обзора с синтезированной апертурой (РСА) для эффективного использования в задачах дистанционного зондирования поверхности Земли является оптимизация антенной системы в сочетании с правильным выбором частоты повторения зондирующих импульсов [1]. При этом методы обработки первичных результатов радиолокационной съемки потребителям не представляются. Однако на особенности тематической обработки будет сказываться также методика получения синтезированных радиолокационных изображений (РЛИ). В результате большого количества факторов, действующих одновременно, таких как коррекция голографических данных, выбор метода автофокусировки, выбор метода синтеза изображений и т.д., в РЛИ возникают особенности. Как правило, их пытаются компенсировать внешней калибровкой. Однако формирование синтезированных изображений от точечных целей с хорошо известными отражательными характеристиками (угловых отражателей, активных транспондеров и т.д.) отличается от процесса синтезирования в случае шероховатых поверхностей.

## Сбор и обработка информации, получаемой от научной аппаратуры

Процедуру сбора и обработки данных научной аппаратуры разделяют на несколько этапов:

- предварительную обработку;
- первичную обработку;
- обработку, связанную с компенсацией распространения радиоволн (при необходимости);
- тематическую обработку.

Предварительная обработка изображения предназначена для исправления в первичных данных искажений, обусловленных как характеристиками системы получения изображения, так и условиями, при которых они получены. К примеру, коррекция искажений голографических данных может проводиться с помощью автофокусировки с использованием навигационных данных или совместно с использованием точечных объектов на земной поверхности, а также с учетом миграции дальности. Отмечается, что коррекция этих искажений является обязательной для получения качественного радиолокационного изображения.

На этапе первичной обработки проводят синтез радиолокационных изображений из голограмм. Процесс получения РЛИ основывается на сжатии эхо-сигналов по дальности и синтезировании апертуры в азимутальной плоскости путем когерентной обработки последовательности сигналов, отраженных от выбранного элемента поверхности. Первоначально получают действительную  $A_{реал}(x, y)$  и мнимую  $B_{мним}(x, y)$  компоненты РЛИ, которые на следующем этапе преобразуются в амплитуды  $A(x, y) = \sqrt{A_{реал}^2(x, y) + B_{мним}^2(x, y)}$  (или интенсивности) и фазы  $\theta(x, y) = \arctg \frac{B_{мним}(x, y)}{A_{реал}(x, y)}$ .

При этом полная апертура антенны может разбиваться на несколько подапертур, в каждой из которых можно получить РЛИ. Для уменьшения влияния спекл шумов они могут некогерентно складываться. При этом полагают, что качество объектов остается неизменным. Потребитель, как правило, не располагает информацией о том, как именно получено РЛИ: в одно подапертуре антенны или в результате усреднения радиолокационных изображений по ряду подапертур, или по полной апертуре, и т.д. Для примера на рис. 1 представлены РЛИ, полученные в УКВ-диапазоне длин волн для разных подапертур. Анализ показывает, что РЛИ в различных подапертурах могут значительно отличаться друг от друга и при их усреднении возможна потеря полезной информации об исследуемой поверхности.

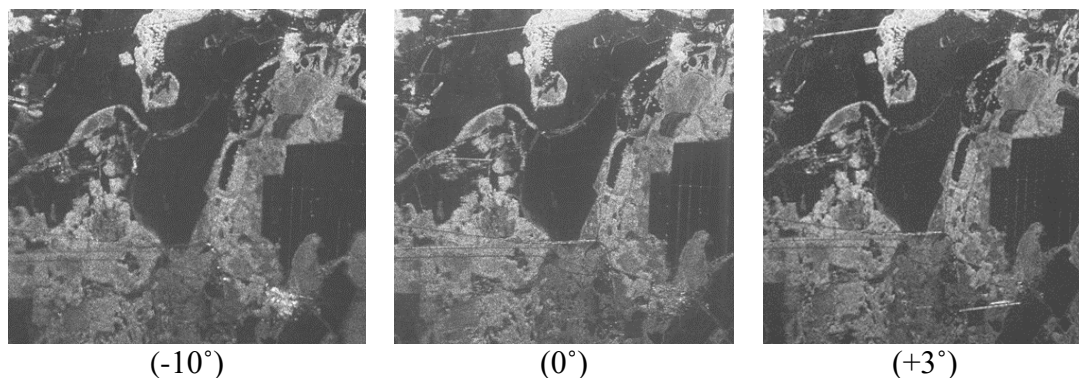


Рис. 1. Фрагменты РЛИ, полученные при разных азимутальных направлениях подапертур (-10°, 0°, +3°)

На рис. 2 для сопоставления приводятся экспериментальные РЛИ в «форматах» действительных и мнимых частей, а также интенсивности, полученные непосредственно как при проведении наших исследований, так и представленные в зарубежных и российских публикациях. Авторы [2] отмечают: «В комплексных компонентах совершенно невозможно увидеть какую-либо информацию». Однако результаты других исследователей показывают, что это не так. Объяснение следует искать в технических характеристиках РСА, в условиях проведения экспериментов и обработке экспериментальных данных.

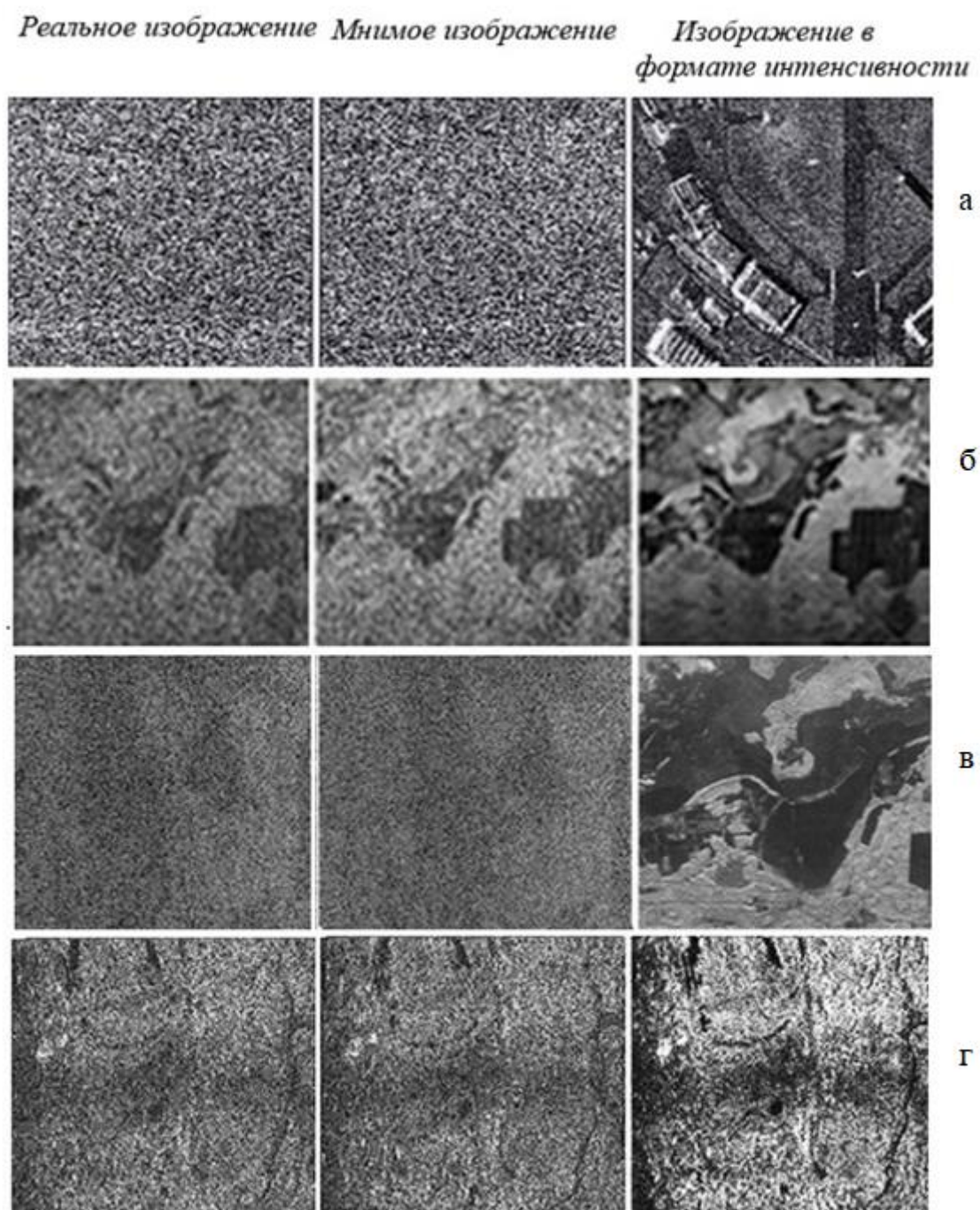
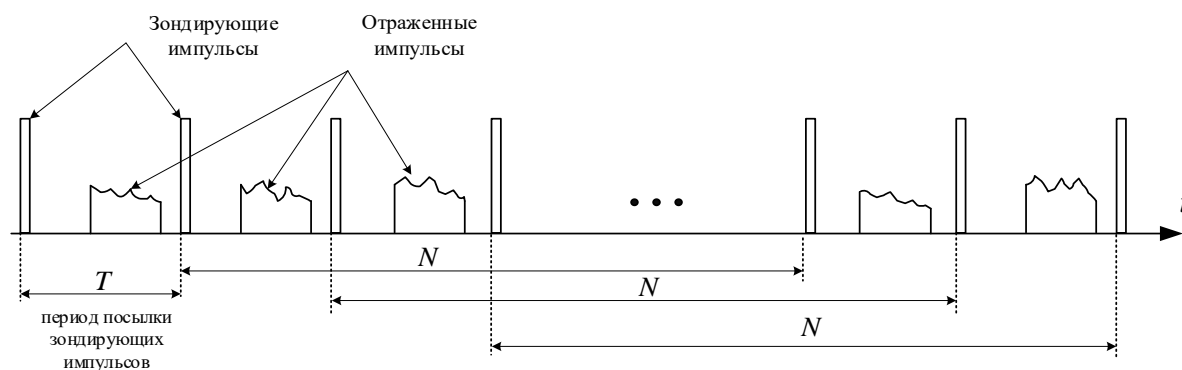


Рис. 2. Реальная и мнимая компоненты РЛИ, преобразованные в интенсивность: а – из [2], б – для L-диапазона длин волн, в – для Р-диапазона длин волн, г – из [3]

Так как расстояние  $l_0$ , которое носитель пролетает за время, равное периоду посылки импульсов, меньше разрешающей способности РСА (например, за время, равное периоду посылки сигнала, самолет пролетает порядка 2 метров, а азимутальная разрешающая способность при этом составляет 25 метров), то часто построчное изображение формируется не с интервалом  $l_0$ , а с интервалом  $N \cdot l_0$ , т.е. имеет место смещение окна визирования на расстояние, соответствующее нескольким ( $N$ ) периодам посылки сигналов (см. рис. 3). При этом разрешающая способность РСА по каждой строке РЛИ остается постоянной, но расстояние между строками изображения увеличивается.



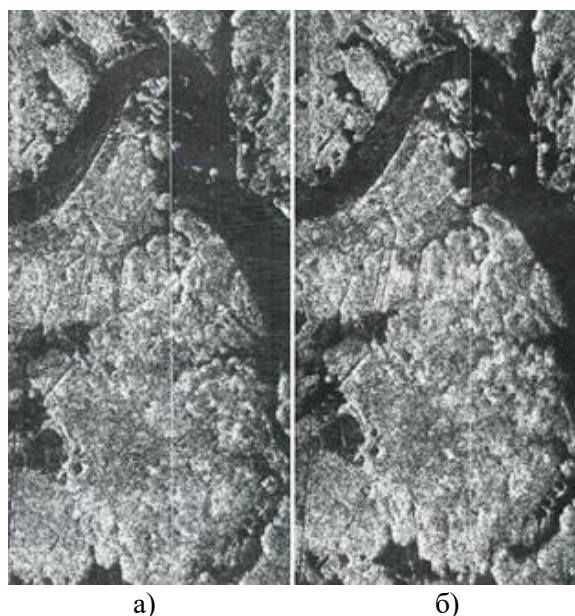
**Рис. 3. Формирование РЛИ с прореживаем**

При этом также полагается, что никакого существенного влияния на РЛИ происходить не должно. Анализ РЛИ на рис. 4 (в ряде случаев для сопоставления использовались корреляционные методы) показывает хорошее общее совпадение изображений. Однако, несмотря на это, непрерывно наблюдаются необъяснимые расхождения. Это относится к пространственно-распределенным фрагментам РЛИ (см., например, неоднородности водной поверхности), но особенно расхождения наблюдаются для малоразмерных объектов. Особенности как отражательных характеристик, так и пространственного поведения – четкости изображения, не предсказуемы.

В процессе получения РЛИ можно осуществить построчное прореживание голографических данных (такой метод формирования РЛИ также используется). Предварительный анализ такого вида обработки голографических данных для формирования синтезированных РЛИ приводит к еще большему количеству трудно объяснимых особенностей.

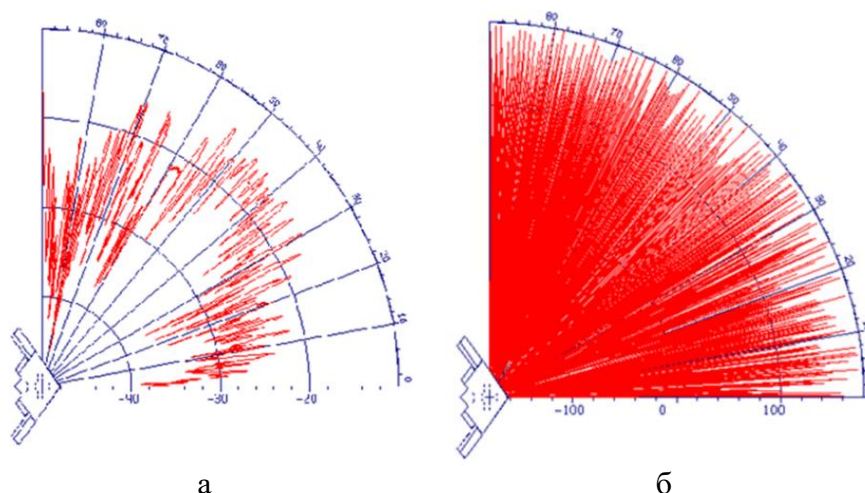
Один из возможных выводов, который можно сделать из анализа наблюдаемых особенностей, заключается в том, что объяснение отражательных свойств объектов, представимых в виде совокупности ограниченного числа зеркальных точек, следует искать в формировании угловой ширины лепестка диаграммы обратного рассеяния. Данная проблема не существует при отражении от точечных калиброванных объектов типа уголкового отражателей. В качестве примера, на рис. 5 в зависимости от угла визирования представлены результаты [4] расчетов отражения электромагнитного излучения от самолета как в «формате» интенсивности (а), так и фазы (б).

В процессе получения РЛИ можно осуществить построчное прореживание голографических данных (такой метод формирования РЛИ также используется). Предварительный анализ такого вида обработки голографических данных для формирования синтезированных РЛИ приводит к еще большему количеству трудно объяснимых особенностей.



**Рис. 4. Радиолокационные изображения, полученные а) при смещении окна визирования на расстояние, соответствующее двум периодам посылки сигнала, б) при смещении окна визирования на расстояние, соответствующее восьми периодам посылки сигнала**

Один из возможных выводов, который можно сделать из анализа наблюдаемых особенностей, заключается в том, что объяснение отражательных свойств объектов, представимых в виде совокупности ограниченного числа зеркальных точек, следует искать в формировании угловой ширины лепестка диаграммы обратного рассеяния. Данная проблема не существует при отражении от точечных калиброванных объектов типа уголкового отражателя. В качестве примера, на рис. 5 в зависимости от угла визирования представлены результаты [4] расчетов отражения электромагнитного излучения от самолета как в «формате» интенсивности (а), так и фазы (б).

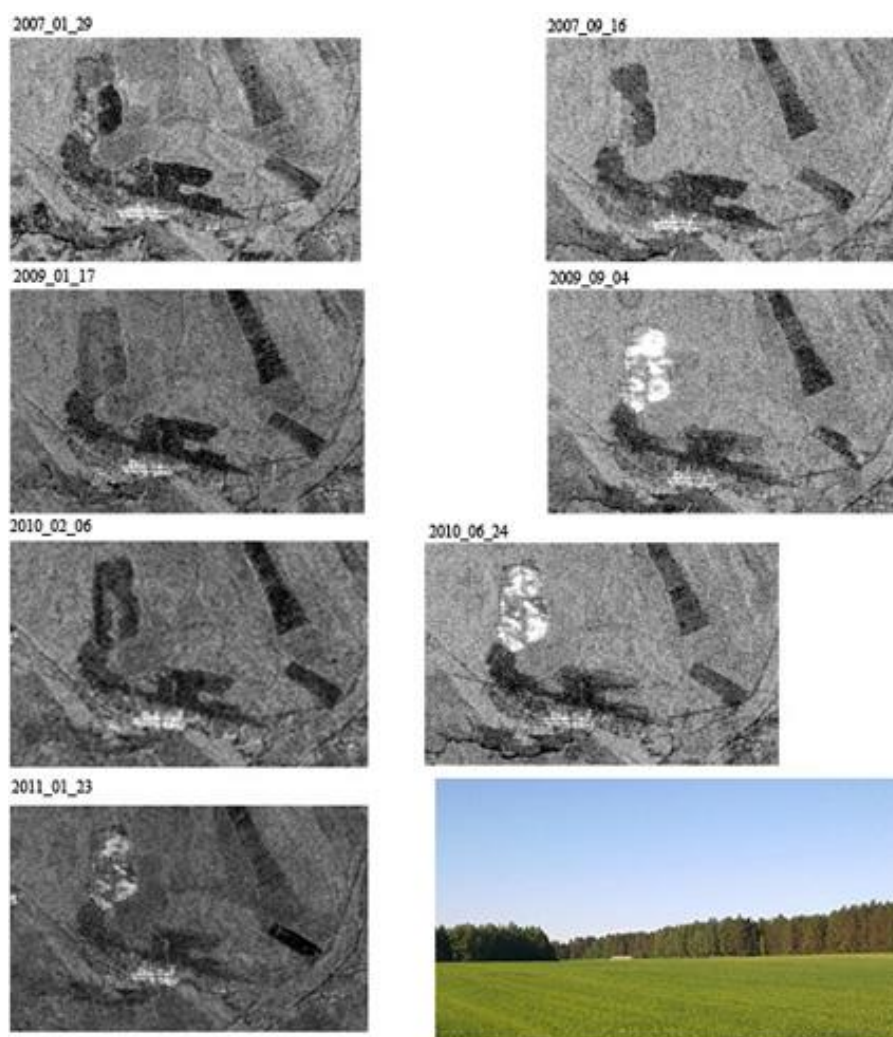


**Рис. 5. Зависимость отражения электромагнитного излучения самолета от угла визирования: а) интенсивности, б) фазы**

Представленные результаты показывают, что в зависимости от угла наблюдения и диапазона углов синтеза получаемые РСА изображения будут различными. Нерешенным остается вопрос о величине угла поворота, приводящего к независимому значению отражательной способности.

Таким образом, отсутствие сведений о методах предварительной обработки исходных радиолокационных данных, получаемых с российских и зарубежных систем, приводит к трудностям тематической интерпретации. В качестве примера на рис. 6 приведены результаты сезонных съемок участка земной поверхности в районе г. Рязань (материалы РЛ-съемок получены от Александра Ивановича Захарова).

Выбранный с/х участок расположен в лесном (в основном) хвойном массиве вблизи небольшого поселка. Следует отметить, что исследование влияния вида используемой с/х культуры, типа вспашки и боронования в осенний и весенний периоды, а также результаты отдельных георадарных измерений не позволили объяснить результаты радиофизических исследований. Кроме того, объяснению не поддается анализ геометрических и отражательных характеристик отдельных участков изображений.



**Рис. 6. Сезонные радиолокационные изображения сельскохозяйственного поля**

### **Выводы**

Методика обработки голографических данных влияет на особенности радиолокационных изображений подстилающих поверхностей. Вместе с тем изображения точечных целей подвержены такому влиянию в значительно меньшей степени, поэтому могут быть использованы в целях калибровки.

Сопоставление результатов тематической обработки в разных экспериментах невозможно без точного знания технических характеристик РСА, а также методики

получения синтезированных изображений. Потребителям радиолокационных съемок, как правило, сведения об используемой методике получения РЛИ недоступны.

### **Литература**

1. Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования – М.: Радиотехника, 2010. 680 с.
2. Frey A.C., Freitas C.C., Santanna S.J.S., Renno C.D. Statistical Properties of SAR Data and their Consequences // Seminar of the United Nations Programme on Space Applications, 10:53-62, 1999.
3. Бабокин М.И., Толстов Е.Ф. Фазовое портретирование в многоканальных РСА // VI Всероссийские Армандовские чтения: Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред: VII Всероссийская научная конференция. МИ ВлГУ, г. Муром, 2016. С. 287-297.
4. Борзов А.В., Быстров Р.П., Соколов А.В. Анализ радиолокационных характеристик объектов сложной пространственной конфигурации // Журнал радиоэлектроники. – 1998. – № 1. – С. 34–63.