

The 22nd International Conference "Microwave & Telecommunication Technology", Sevastopol, Crimea, Ukraine, 2012. P. 1009–1011.

7. Cote S., Srivastava S., Muir S., Hawkins R. Canadian Government Calibration Operations: Imaging Performance Update in the Fifteenth Year of Service. CEOS

SAR calibration and validation workshop 2010. Available at: <http://sarcv.ceos.org/documents/doc/41>.

8. Richard J., Dumper K., Heliere F., Buck C. An innovative calibration concept for space SAR using an active antenna with improved efficiency, reliability and radiometric accuracy. Proc. of EUSAR 2006, ID: 026.

© Лепехина Т. А., Николаев В. И., 2013

УДК 537.867+523.034.43

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМНОЙ И ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МНОГОЧАСТОТНЫМ РАДИОЛОКАЦИОННЫМ КОМПЛЕКСОМ РАДИОЛОКАТОРОВ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ «КОМПАКТ»

С. Л. Внотченко, М. Ю. Достовалов, Р. В. Ермаков, Т. Г. Мусинянц, Е. П. Севалкина

Научно-исследовательский институт точных приборов
Россия, 127490, Москва, ул. Декабристов, 51. E-mail: kotik_55@mail.ru

Представлены результаты зондирования земной и водной поверхности, полученные авиационным много-частотным радиолокационным комплексом РСА «КОМПАКТ». Комплекс устанавливается на борту вертолета Ми-8 и функционирует одновременно в четырех диапазонах (X, L, P, VHF). С его использованием был получен большой объем экспериментальных данных, направленных на решение следующих задач: анализ отражающих характеристик объектов и фонов в разных диапазонах, оценка затухания РЛ сигнала в лесных массивах, наблюдение объектов на водной поверхности.

Ключевые слова: радиолокатор с синтезированной апертурой, РСА, РСА «КОМПАКТ».

THE RESULTS OF MULTIFREQUENCY SAR OBSERVATIONS WITH 4-BAND AIRBORNE RADAR COMPLEX «COMPACT»

S. L. Vnotchenko, M. Y. Dostovalov, R. V. Ermakov, T. G. Moussiniants, E. P. Sevalkina

Research Institute of Precise Instruments
51 Dekabristov st., Moscow, 127490, Russia. E-mail: kotik_55@mail.ru

Multifrequency airborne SAR "Compact" was designed to operate in X, L, P and VHF band, mounted on board of Mi-8 helicopter without the need of any platform modification. The comparative analysis of backscattering properties for some natural surfaces was performed with the use of generated SAR images. Backscatter coefficients for surfaces for different bands were calculated. The examples of 4-band SAR observations are demonstrated. The joint use of multifrequency radar data seems to be an interesting instrument in SAR image analysis of natural surfaces and water areas.

Keywords: synthesized aperture radar, SAR, multifrequency SAR.

Применение синхронной многочастотной радиолокационной (РЛ) съемки является перспективным направлением повышения информативности систем наблюдения на основе РСА космического и авиационного базирования.

Исследования в области многочастотных РЛ систем проводятся в ОАО «НИИ ТП» в течение длительного времени. В 2005 г. был разработан авиационный РЛ-комплекс функционирующий в X- и L-диапазонах [1]. Следующая модификация комплекса (2007 г.) включала РСА L- и VHF-диапазонов (0,23 и 2,5 м соответственно) [2; 3]. В 2009 г. была проведена летная отработка 3 диапазонного комплекса (X-, L- и P-диапазоны), а в 2011 г. комплекс РСА «КОМПАКТ» был модернизирован для одновременной работы четырех диапазонов (X, L, P, VHF) на борту вертолета Ми-8 без необходимости доработки носителя (рис. 1).

Основной задачей РЛ-комплекса было обеспечение возможности проведения многоканальных радиолокационных экспериментов, в том числе, и в длинноволновом диапазоне, в удаленных районах без необходимости использования специализированного носителя, с целью снижения затрат на проведение экспериментальных работ. Аппаратура РСА, включая не только электронные компоненты, но и VHF антенну и калибровочные отражатели, может перевозиться на пассажирском самолете и легко транспортироваться в любой необходимый район работ.

Создание подобного комплекса потребовало решения большого числа научно-технических задач в различных областях: аппаратное построение, системы, сегмент обработки информации, проблемы обеспечения электромагнитной совместимости.

Характеристики комплекса РСА «КОМПАКТ».

Радиолокационный комплекс РСА «КОМПАКТ» состоит из четырех РСА, функционирующих независимо друг от друга, навигационного комплекса, и рабочего места управления и контроля, объединенных в бортовую локальную вычислительную сеть. Комплекс управляется одним оператором с использованием средств удаленного доступа. Основные параметры системы представлены в табл. 1 и подробно освещены в [4].

Особенностью данного комплекса является возможность получения калиброванной РЛ-информации. Для калибровки экспериментальных данных использовались наборы уголковых отражателей. Для калибровки X-диапазона применялись треугольные отража-

тели с длиной ребра 0,5 м. Для калибровки остальных диапазонов применялись треугольные отражатели с длиной ребра 1 м. Данные отражатели были прокалиброваны в L- и VHF-диапазонах в VV- и HH-поляризациях. В рамках калибровки были определены максимальные значения ЭПР отражателей, а также угловые зависимости ЭПР-диаграммы обратного рассеяния.

Результаты многочастотной РЛ съемки. Результаты синхронной четырехдиапазонной съемки РЛ-комплекса «КОМПАКТ» представлены на рис. 2. Фрагмент сюжета включает области лесных массивов различной степени однородности и плотности, поля, населенный пункт, участки шоссе и железной дороги.



Рис. 1. Размещение антенн X- и L-диапазонов в иллюминаторах, вид снаружи (слева) и размещение антенн Р- и VHF-диапазонов (справа). Антенна Р-диапазона крепится за иллюминатор, а антенна VHF-диапазона устанавливается в штатный люк вертолета Ми-8

Таблица 1

Параметры комплекса РСА «КОМПАКТ»

Наименование	X	L	P	VHF
Центральная частота (МГц)	8 550	1 310	430	140
Полоса сигнала (MHz)	300	100(200)	80	50 (40)
Размеры антенны (m)	0,25 × 0,25	∅ 0,35	∅ 0,5	1,3 × 0,1
Мощность импульса (W)	60	250	200	150



X-диапазон (3,5 см)



L-диапазон (23 см)



P-диапазон (70 см)



VHF-диапазон (2,15 м)

Рис. 2. Результаты синхронной четырехдиапазонной съемки РЛ-комплекса «КОМПАКТ». Сюжет включает области лесных массивов, поля, населенный пункт, участки шоссе и железной дороги

Результаты сравнительного анализа изображений сюжета, полученных в разных каналах, показывают, что даже в длинноволновых диапазонах характерен существенный уровень отражений от растительных покровов. Рисунок демонстрирует, что в областях леса отраженный сигнал остается интенсивным даже в диапазонах Р и VHF, в то время как на открытых участках в данных диапазонах он существенно снижается.

Усредненные по нескольким изображениям результаты измерений уровней УЭПР участков травы и леса, выраженные в децибелах, представлены в табл. 2.

Для анализа характеристик отражения и затухания сигнала в лесных массивах в разных частотных диапазонах были проведены специальные экспериментальные исследования. Оценка ослабления РЛ-сигнала при распространении в лесной среде проводилась путем сравнения мощностей сигналов угловых отражателей, находящихся в области РЛ тени с сигналами аналогичных отражателей, размещенных на открытой местности.

Отражатели устанавливались вдоль прямой линии таким образом, чтобы один из них был размещен непосредственно в лесу, один или два находились в области радиолокационной тени на разных расстояниях от кромки леса, а остальные устанавливались на открытом (незатененном) участке. Измерения мощностей отраженных сигналов проводились по отметкам отражателей на сформированных радиолокационных изображениях.

Анализ результатов показал, что ослабление радиолокационных сигналов играет определяющую роль для высокочастотных (L- и еще большую для X-) диапазонов. Измеренные уровни погонного затухания при распространении через лес составили 1–2 дБ/м для X- и 0,2–0,4 дБ/м для L-диапазона.

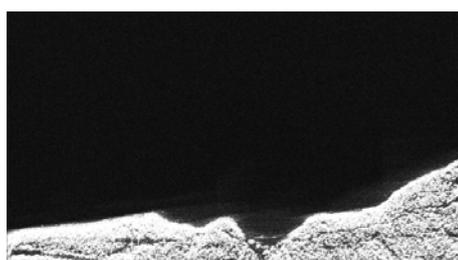
В то же время ослабление существенно снижается для низкочастотных радиосигналов и составляет порядка 0,15 дБ/м для Р- и ~0,05 дБ/м для VHF-диапазона, т. е. для данного диапазона лес оказывается практически прозрачен. Однако, при этом происходит снижение уровня отраженного сигнала от цели с одной стороны, и, с другой стороны, сохраняется относительно высокий уровень отражения от самого лесного массива, что в определенной степени ограничивает возможность наблюдения объектов скрытых в растительности в РЛ-диапазоне.

С использованием многочастотного РЛ-комплекса РСА «Компакт» была проведена серия экспериментов по наблюдению акваторий. Во время наблюдений в длинноволновых диапазонах были обнаружены характерные отражающие свойства волновых следов от движущихся судов на водной поверхности. Кадры, представленные на рис. 3 показывают, что волновые следы в X-диапазоне не наблюдаются совсем, но, в то же время отчетливо видны в L, Р и VHF диапазонах. При этом оказалось, что во многих случаях следы в VHF-диапазоне являются весьма стабильными и отчетливо наблюдаются длительное время (более 30 мин).

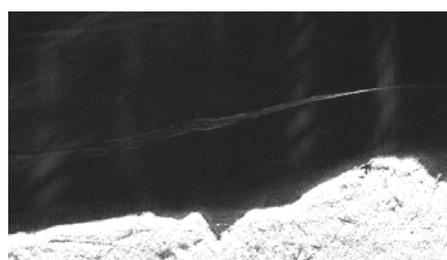
Таблица 2

Усредненные уровни УЭПР травы и леса в X-, L- и VHF-диапазонах

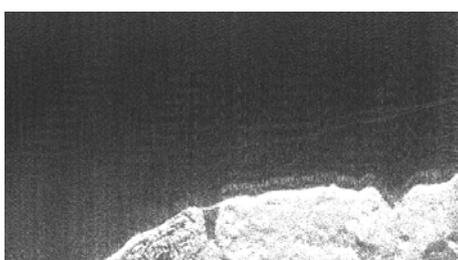
	Трава, σ^0 , дБ	Лес, σ^0 , дБ	Контраст, дБ
X-диапазон VV	-12	-11	~1
L-диапазон VV	-22	-10	12
VHF-диапазон VV	-28	-12	16



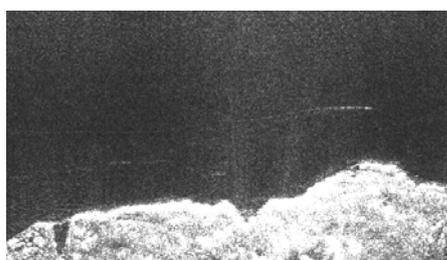
X-диапазон (3,5 см)



L-диапазон (23 см)



Р-диапазон (70 см)



VHF-диапазон (2,15 м)

Рис. 3. Синхронная многочастотная РЛ-съемка водной поверхности. Результаты наблюдения волновых следов судов. Кадры показывают, что волновые следы в X-диапазоне не наблюдаются совсем, но в то же время отчетливо видны в L-, Р- и VHF-диапазонах

В работе были продемонстрированы результаты, полученные авиационным многочастотным радиолокационным комплексом РСА «КОМПАКТ». Комплекс может быть установлен на борту вертолета Ми-8 и функционирует одновременно в четырех диапазонах (X, L, P, VHF).

Многочастотная РЛ-съемка с использованием длинноволновых диапазонов в настоящее время является областью, в которой явно ощущается недостаток экспериментальных данных. Использование представленного комплекса РСА с борта обычного вертолетного носителя позволяет существенно удешевить и расширить объемы экспериментальных работ. При этом в ряде случаев обнаруживаются интересные отражающие свойства объектов – как на суше, так и на водной поверхности.

Получение наборов данных экспериментальной РЛ-информации в необходимых объемах и разработка средств комплексного количественного ее анализа позволяет в перспективе ожидать появления эффективных методик применения РЛ-данных для решения различных задач.

Библиографические ссылки

1. Dostovalov M., Lifanov A., Moussiniants T. Comparative Analysis of Images Obtained by Two-frequency (X, L band) Airborne SAR // 6th European Conf. on SAR, EUSAR'06 (16–18 May 2006, Dresden). P. 151.

2. Авиационные мобильные малогабаритные радиолокаторы с синтезированной апертурой семейства «Компакт» (принципы реализации и опыт применения) / С. Л. Внотченко, М. Ю. Достовалов,

А. В. Дьяков и др. // Радиолокация и радиосвязь : материалы III Всерос. конф. (26–30 окт. 2009, г. Москва). С. 326–340.

3. Dostovalov M. Y., Ermakov R. V., Moussiniants T. G. L and VHF Band Airborne SAR. System Features and Comparative Image Analysis // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2011. № 10. P. 3639–3647.

4. Сравнительный анализ характеристик отражения объектов и фоновых поверхностей по РЛ изображениям высокого разрешения в метровом, дециметровом и сантиметровом диапазонах / С. Л. Внотченко, М. Ю. Достовалов, Р. В. Ермаков и др. // Исследование Земли из космоса. 2009. № 3. С. 16–26.

References

1. Dostovalov M., Lifanov A., Moussiniants T. Comparative Analysis of Images Obtained by Two-frequency (X, L band) Airborne SAR. 6th European Conf. on SAR, EUSAR-06, 16–18 May, 2006, Dresden, Germany. P. 151.

2. Vnotchenko S., Dostovalov M., Dyakov A., Dyakov I., Ermakov R. III Vserossiiskaya konferencia “Radiolocacia i radiosvyaz” (Materials III All-Russian. Conf. “Radiolocation and radio”). Moscow, 26–30 oct 2009, pp. 326–340.

3. Dostovalov M. Y., Ermakov R. V., Moussiniants T. G. L and VHF Band Airborne SAR. System Features and Comparative Image Analysis. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 2011. № 10, pp. 3639–3647.

4. Vnotchenko S. L., Dostovalov M. Y., Ermakov R. V., Moussiniants T. G. Issledovanie Zemli iz Kosmosa. 2009, № 3, pp. 16–26.

© Внотченко С. Л., Достовалов М. Ю., Ермаков Р. В., Мусинянц Т. Г., Севалкина Е. П., 2013

УДК 629.7

СИНТЕЗ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ПОЛУЧАЕМЫХ В БОРТОВОМ РАДИОЛОКАЦИОННОМ КОМПЛЕКСЕ «СЕВЕРЯНИН»

М. Ю. Достовалов, А. И. Коваленко, В. М. Костусьяк, В. В. Римап, С. Г. Судоргин

Научно-исследовательский институт точных приборов
Россия, 127490, Москва, ул. Декабристов, 51. E-mail: kostusyak@yandex.ru

Рассматриваются возможности синтеза и использования изображений земной поверхности полученных с помощью радиолокатора космического базирования. Анализируются схема визирования, устройство бортовой антенны и параметры траектории космического аппарата. Решены проблемы навигационного обеспечения радиолокационных данных и временной привязки радиолокационной информации. Приводятся примеры и характеристики реальных изображений.

Ключевые слова: бортовой радиолокационный комплекс, дистанционное зондирование земли, радиолокационное изображение, алгоритм синтеза.