

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. 6<sup>th</sup> 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.

## SYNTHESIS OF EARTH SURFACE RADAR IMAGES RECEIVED IN "SEVERYANIN" SPACEBORNE RADAR SYSTEM

M. J. Dostovalov, A. I. Kovalenko, V. M. Kostusyak, V. V. Riman, S. G. Sudorgin

Scientific Research Institute of Precision Instruments  
51 Dekabristov st., Moscow, 127490, Russia. E-mail: kostusyak@yandex.ru

*The possibilities of the synthesis and use of the earth surface images obtained using space-based radar are considered. The main problem solved by radar is information support navigation of ships along the Northern Sea Route. Scheme sensing, device on-board antenna and trajectory parameters of the spacecraft are analyzed. Spaceborne radar set to the radiation phase-shift keyed signal. Navigation support radar data and timing of radar data problems have been solved. Examples and characteristics of real images are represented. Basic calculations performed in the synthesis of radar data are described. Earth probing radar is now considered a promising way to diagnose the environment.*

*Keywords: spaceborne radar system, remote sensing of the earth, radar image, synthesis algorithm.*

Бортовой радиолокационный комплекс (БРЛК) «Северянин-М», характеристики которого представлены в [1; 2] – предназначен для сканирования поверхности Земли в радиодиапазоне в целях обеспечения безопасности мореплавания, исследования ледового покрова, мониторинга наводнений, гидрометеорологического обеспечения сельскохозяйственного производства.

Отличительной особенностью зондирования земли в радиолокационном диапазоне является возможность проводить съемку в любую погоду.

Основная задача, решаемая с помощью БРЛК – это информационное обеспечение навигации судов по Северному морскому пути. Для решения данной задачи предусмотрено построение РЛИ со следующими параметрами:

- размеры 750 км поперек трассы полета КА и более 4 000 км вдоль трассы полета КА, разрешение РЛИ 400 м, объем РЛИ – 22,5 млн пикселей;

- точность геометрической привязки желательна в пределах нескольких элементов разрешения;

- точность определения УЭПР желательна около 1 дБ (для оценки толщины и возраста льда, проверки наличия полыньи по курсу судна);

Работа БРЛК в составе КА осуществляется на солнечно-синхронной орбите со следующими расчетными параметрами:

- средняя высота орбиты 832 км (высота над земным сфероидом от 815 до 850 км);

- период обращения 101,3 мин  $\pm$  4 с. Выполняется 14 суточных витков;

- эксцентриситет орбиты 0,001 15;

- наклонение орбиты 98,77°;

- орбитальная скорость движения КА около 7 500 м/с;

Бортовая антенна состоит из 7 секций и имеет размер 13,4  $\times$  0,25 м. Штатная ДНА шириной по азимуту 0,123° обследовывает на земле ширину освещенного пятна около 3 км. Сканирование в азимутальной плоскости выполняется только за счет пролета КА. В угломестной плоскости ДНА имеет форму косекансного типа.

Так как есть ограничения по потребляемой энергии, бортовая РЛС настроена на излучение фазоманипулированного сигнала с функцией неопределенности кнопочного типа. При этом интегральный уровень

боковых лепестков составляет до + 6 дБ. Длина фазовой последовательности установлена  $N = 359$  и  $N = 723$  для разных режимов съемки. Есть возможности оперативной замены сигнала.

Первые примеры синтезированных РЛИ опубликованы в [3; 4]. Синтезируется РЛИ типа RAW, без дополнительной обработки, так как по снимкам нужно оценивать реальное значение УЭПР. Пример изображения тихоокеанского побережья Антарктиды приведен на рис. 1, европейской части России – на рис. 2.

Алгоритмы синтеза РЛИ, реализованные в БРЛК «Северянин-М», описаны в работе [5].

В процессе разработки методов синтеза РЛИ были решены следующие проблемы:

- навигационного обеспечения радиолокационных данных;

- временной привязки радиолокационной информации.

Основными вычислениями, выполняемыми при синтезе РЛИ, являются следующие:

- распаковка входной информации (радиоголограмма и баллистические данные) фильтрация искажений, внесенных при передаче этой информации на пункт приема по радиолинии, а также фрагментация входной информации для обработки средствами многомашинного комплекса;

- расчет пространственного и временного распределения доплеровских частот по периферии РЛИ является основополагающим алгоритмом для синтеза качественного РЛИ земной поверхности в БРЛК «Северянин-М». Из-за большого объема вычислений расчет доплеровских частот выполняется поэтапно средствами многомашинного комплекса. Вследствие этого, расчет доплеровских частот реализован фрагментами по временной последовательности исполнения и по месту исполнения в многомашинном комплексе;

- синтез парциальных РЛИ путем применения спектральных преобразований согласованной фильтрации;

- формирование полного РЛИ и файла геометрической привязки.

На данном этапе исследований достигнуты следующие характеристики РЛИ:

- точность геометрической привязки 0,5–8 км;

- точность определения УЭПР около 3 дБ.

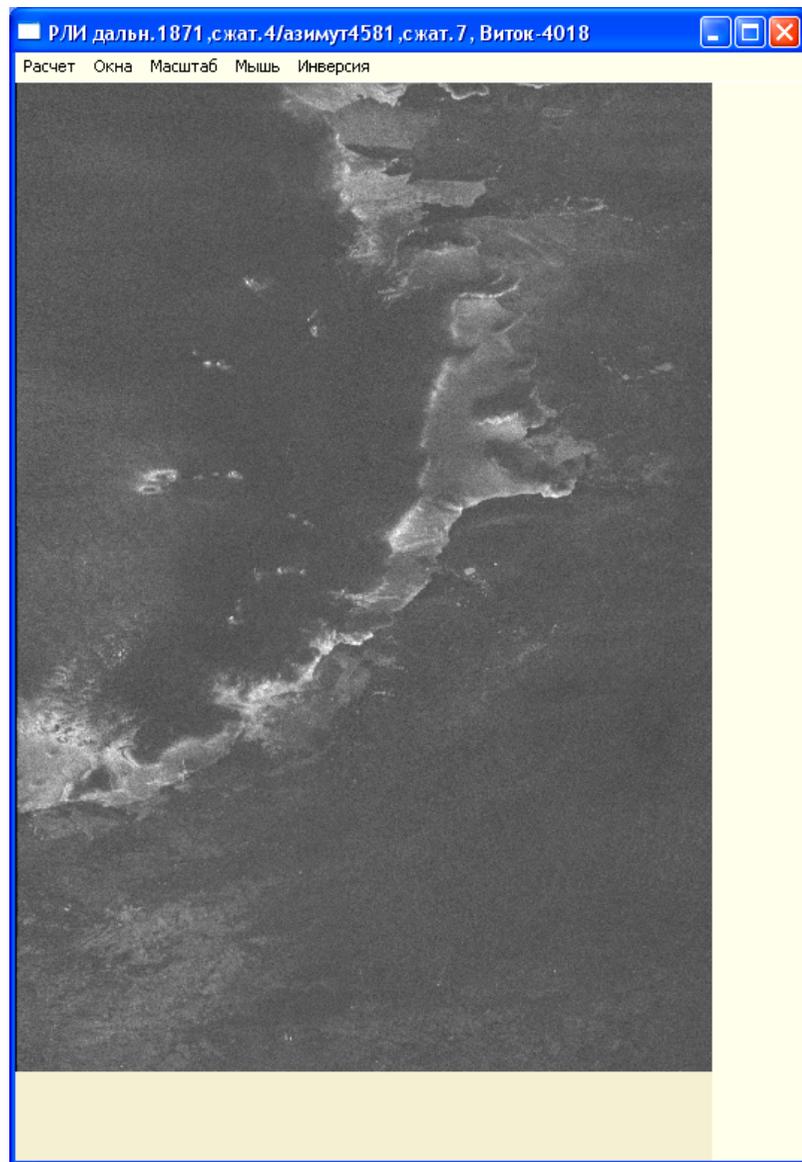


Рис. 1

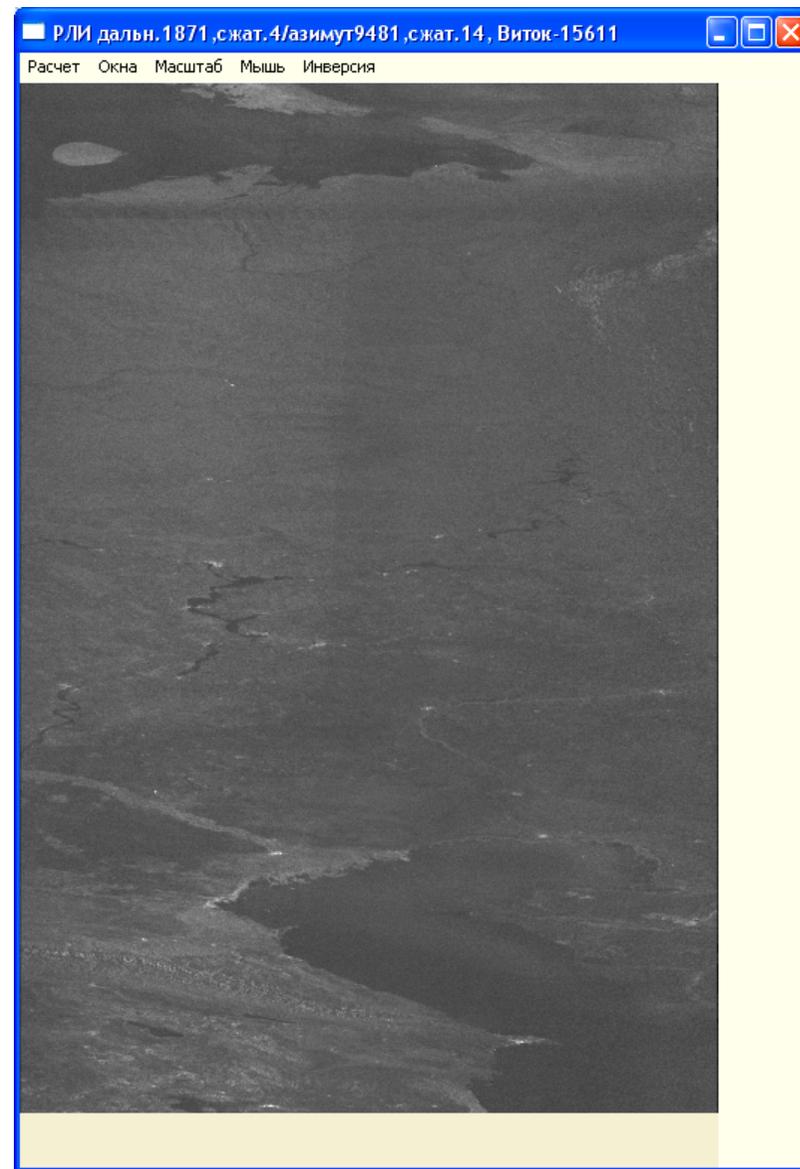


Рис. 2

Общим положительным результатом проведенных исследований является тот факт, что радиолокационное зондирование поверхности земли сейчас считается перспективным способом диагностики окружающей среды. Согласно действующей Федеральной космической программе России на 2006–2015 гг. второй спутник космического комплекса «Метеор-3М» будет запущен в 2013 г. Он должен соответствовать первому по назначению и составу и дополнять его с целью улучшения параметров обзорности и периодичности.

#### Библиографические ссылки

1. Чуркин А. Л. Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» со спутником «Метеор-М» // Геомадика. 2009. № 3.
2. Системные принципы реализации космического радиолокатора «Северянин-М» / С. Л. Внотченко, А. И. Коваленко, В. В. Риман и др. // Радиолокация и радиосвязь : материалы IV Всерос. науч.-техн. конф. (29.11–03.12.2010, г. Москва) / ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН. М., 2010. С. 279–293.
3. Космический радиолокатор «Северянин-М» с широкой полосой съемки / С. Л. Внотченко, М. Ю. Достовалов, В. С. Дудукин и др. // Зондирование земных покровов радарными с синтезированной апертурой : материалы Рос. науч. конф. (06.09–10.09.2010, г. Улан-Удэ) : электрон. сб. докл. / ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН. М., 2010. С. 72–84.
4. Wide-Swath Spaceborne SAR System «Severyanin-M» For Remote Sensing: First Results / S. Vnotchenko, M. Dostovalov, V. Dudukin et al. // EUSAR 2012 : 9th

Europ. Conf. on Synthetic Aperture Radar (23–26 April 2012, Nurnberg). P. 422.

5. Сборник алгоритмов БРЛК «Северянин-М». НИИТП. Рег. № НТК-11/978(a) от 08.12.2008.

#### References

1. Churkin A. L. GEOMATIKA 2009. № 3.
2. Vnotchenko S. L., Kovalenko A. I., Riman V. V., Telichev A. V., Chernishov V. S., Shishanov A. V. IV Vserossiyskaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya "Radiolokaciya i svyaz" (Proceedings of IV All-Russia scientific and engineering. Conf. Radiolocation and radio), 29.11-3.12.2010, Moscow, Izdanie JRE im. V. A. Kotelnikova RAN, Moscow, 2010, p. 279-293.
3. Vnotchenko S. L., Dostovalov M. J., Dudukin V. S., Kovalenko A. I., Musinyants T. G., Riman V. V., Selyanin A. I., Smirnov A. I., Shishanov A. V. Rossiyskaya nauchnaya konferenciya «Zondirovanie zemnyh pokrovov radarami s sintezirovanoy aperturoy» (The Russian researcher. Conf. "Probing Earth's surface with a synthetic aperture radar"). 06.09-10.09.2010. Ulal-Ude. Elektronnyy sbornik dokladov, Izdanie JRE im. V. A. Kotelnikova RAN, Moscow, 2010. p. 72–84.
4. Vnotchenko S., Dostovalov M., Dudukin V., Kovalenko A., Musinyants T., Riman V., Selyanin A., Smirnov S., Telichev A., Chernishov V., Shishanov A. Wide-Swath Spaceborne SAR System "Severyanin-M" For Remote Sensing: First Results EUSAR 2012 9th European Conference on Synthetic Aperture Radar. Electronic Proceedings, 23-26 April 2012, Nurnberg, Germany, p. 422–kovalenko.pdf
5. Sbornik algoritmov BRLK «Severyanin-M». НИИТП. Рег. № НТК-11/978(a) 08.12.2008.

© Достовалов М. Ю., Коваленко А. И., Костусьяк В. М., Риман В. В., Судоргин С. Г., 2013

УДК 528.85

### ИЗМЕНЕНИЕ ТЕКСТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ЮЖНОЙ ЧАСТИ ОЗЕРА БАЙКАЛ В ПЕРИОД ЛЕДОСТАВА 2010 г. ПО ДАННЫМ ALOS PALSAR\*

Н. В. Родионова<sup>1</sup>, А. В. Филатов<sup>2</sup>, А. В. Евтюшкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники имени В. А. Котельникова Российской академии наук  
Россия, 141190, Фрязино Московской области, площадь им. акад. Б. А. Введенского, 1.  
E-mail: rnv@ire.rssi.ru

<sup>2</sup>Балтийский федеральный университет имени И. Канта,  
Россия, 236041, Калининград, ул. А. Невского, 14.  
E-mail: AnFilatov@kantiana.ru, AYevtyushkin@kantiana.ru

Осуществлена текстурная RGB-сегментация с использованием статистик второго порядка Харалика одноканальных изображений ледяного покрова оз. Байкал по радарным данным ALOS PALSAR в сезоне зимавесна. Сделано сравнение с кластеризацией изображений. Подсчитаны текстурные параметры и фрактальный размер в 140 точках вдоль становой трещины Т1 для января и марта, и сделано предположение о возможной связи изменений текстуры с временной и пространственной динамикой деформации льда.

Ключевые слова: одноканальное изображение, ледяной покров, текстурные признаки, статистики второго порядка, сегментация, фрактальный размер, становые трещины.

\* Радарные данные ALOS/PALSAR предоставлены Японским агентством аэрокосмических исследований по гранту 09/JAXA/AEO № 022300.