

На территориях с растительностью применяются все вышеуказанные технологии в комплексе, при необходимости, производится изменение настроек (усиление фильтрации интерферограмм, понижение порога когерентности при развертке фазы, понижение ожидаемой пространственной плотности постоянных рассеивателей и т. д.). В случае территорий, характеризующихся ярко выраженным зимним периодом с выпадением снега – радарный мониторинг выполняется в бесснежный период года за исключением случая застроенных территорий – по ним отработана технология мониторинга подвижек и деформаций зданий и сооружений и в зимний период. Точность этих методов многократно проверена по данным наземных инструментальных наблюдений.

Представляется целесообразным применение радарных интерферометрических методов для мониторинга смещений и деформаций земной поверхности и сооружений на месторождениях полезных ископаемых, в городах, для мониторинга критических промышленных сооружений, трубопроводов, авто- и железных дорог и других объектов.

#### Библиографические ссылки

1. Рис У. Основы дистанционного зондирования. М. : Техносфера, 2006.
2. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / В. С. Верба, Л. Б. Неронский, И. Г. Осипов, В. Э. Турук. М. : Радиотехника, 2010.
3. Richards M. A Beginner's Guide to Interferometric SAR Concepts and Signal Processing // IEEE Aerospace and Electronic. 2007. Vol. 22, № 9.
4. Ferretti A., Prati C., Rocca F. Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential

SAR interferometry // Geoscience and Remote Sensing : IEEE Transactions on. 2000. Vol. 38, № 5. Part 1. P. 2202–2212.

5. Method of Persistent Scatterer Pairs (PSP) and High Resolution SAR Interferometry / M. Costantini, S. Falco, F. Malvarosa et al. // IGARSS. 2009. № 3. P. 904–907.

6. A new algorithm for surface deformation monitoring based on Small Baseline differential SAR Interferometry / P. Berardino, G. Fornaro, R. Lanari, E. Sansosti // IEEE Aerospace and Electronic. 2002. Vol. 40, № 11.

#### References

1. Rys U. Moscow, Tekhnosfera, 2006, 336 p.
2. Verba V. S., Neronskiy L. B., Osipov I. G., Turuk V. E. Radiolokatsionnyye sistemy zemleobzora kosmicheskogo bazirovaniya (Radar systems zemleobzora space-based). Moscow, Radiotekhnika, 2010, 680 p.
3. M. Richards: "A Beginner's Guide to Interferometric SAR Concepts and Signal Processing". IEEE Aerospace and Electronic, Vol. 22, No. 9, September 2007.
4. A. Ferretti, C. Prati and F. Rocca: "Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry". Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 38, no. 5, Part 1, Sept. 2000, pp. 2202–2212.
5. M. Costantini, S. Falco, F. Malvarosa, F. Minati, F. Trillo. Method of Persistent Scatterer Pairs (PSP) and High Resolution SAR Interferometry. IGARSS, (3), 2009, 904-907.
6. P. Berardino, G. Fornaro, R. Lanari, E. Sansosti: "A new algorithm for surface deformation monitoring based on Small Baseline differential SAR Interferometry". IEEE Aerospace and Electronic, Vol. 40, No. 11, November 2002.

© Кантемиров Ю. И., 2013

УДК 528.7

### ПРИМЕНЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ РАДАРНЫХ СЪЕМОК ДЛЯ ЗАДАЧ ТЕМАТИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА ИЗМЕНЕНИЙ

Ю. И. Кантемиров

Компания «СОВЗОНД», бизнес-центр «Милан»  
Россия, 115563, Москва, ул. Шипиловская, 28а. E-mail: y\_kantemirov@sovzond.ru

*Рассматривается технология расчета радарных мультивременных когерентных композитов. Приводятся принципы интерпретации цветов на таком композите. Рассматриваются примеры применения радарных и радарно-оптических композитов для задач тематического картографирования территорий и мониторинга вырубок в лесном хозяйстве.*

*Ключевые слова: радарные данные ДЗЗ, радарный мониторинг, радарные съемки, мониторинг изменений, тематическое картографирование, мониторинг вырубок леса.*

## SATELLITE SAR DATA USAGE FOR THEMATIC MAPPING AND CHANGE DETECTION PURPOSES

Yu. I. Kantemirov

“SOVZOND” company, business-center “Milan”  
28a Shipilovskaya st., Moscow, 115563, Russia. E-mail: y\_kantemirov@sovzond.ru

*Techniques of multitemporal coherent radar composites generation is considered in the article. Keys for colors interpretation on such composites are described. Examples of SAR and combined SAR-optical composites usage for thematic mapping and clear-cuts mapping in forestry are presented.*

*Keywords: SAR data, SAR monitoring, radar data, change detection, thematic mapping, clear-cuts mapping.*

Как известно, радарные данные дистанционного зондирования Земли содержат в себе амплитудную и фазовую информацию. Сочетание этих двух видов информации в одном композитном изображении обеспечивает принципиальный прирост информации по сравнению с использованием амплитудной и фазовой информации по отдельности. По мнению автора, наиболее простым и в то же время информативным видом амплитудно-фазового композита является цветной композит МТС (Multi-Temporal Coherent), составляемый следующим образом [1]:

- в красном канале – амплитуда первого по дате радарного снимка;
- в зеленом канале – амплитуда второго по дате радарного снимка, сделанного с теми же параметрами съемки, что и первый снимок;
- в синем канале – когерентность фаз этих двух радарных снимков.

Поскольку одним из каналов этого композита является когерентность фаз двух радарных съемок, а она разрушается с увеличением времени между съемками, то максимальная информативность такого композита достигается при коротких временных промежутках между съемками (несколько суток). Такие композиты с короткой временной базой могут быть использованы для задач тематического картографирования. Композиты же с длинной временной базой (недели, месяцы, годы) могут быть использованы для задач выявления изменений и мониторинга наземной активности.

Принципы интерпретации цветов на композите МТС приведены в таблице.

Композиты с короткой временной базой в несколько суток характеризуются примерно одинаковым качеством и уровнем зашумленности всех трех каналов (двух амплитуд и когерентности), поэтому они могут быть использованы для задач составления тематических карт с примерно следующим базовым набором слоев: лес, вырубки и гари (свежие и с восстановлением растительности), неиспользуемые поля, сельскохозяйственные используемые поля, антропогенные объекты, гидросеть, дороги. При необходимости состав слоев может быть адаптирован под решение конкретных задач. Следует отметить, что радарные когерентные композиты с временной базой в несколько суток могут быть получены только с помощью радарной спутниковой группировки COSMO-SkyMed-1-4 (e-GEOS, Италия).

По данным радарных съемок с разрешением 3 м возможно строить тематические карты масштаба 1 : 25 000, по данным радарных съемок с разрешением 1 м – 1 : 10 000.

**Опыт применения композитов МТС в компании «СОВЗОНД».** Первым примером широкого применения композитов МТС в России стал проект по оперативному выявлению вырубок леса на территориях лесного фонда России. К концу съемочного сезона 2011 г. оптические спутники по причине облачности не смогли отснять все территории, подлежащие мониторингу вырубок в 2011 г. За две недели до срока окончания проекта, была оперативно спланирована радарная съемка участков, не покрытых оптическими данными.

На каждый участок была выполнена съемка интерферометрической пары радарных снимков со спутников COSMO-SkyMed-1-4 (e-GEOS, Италия). Для каждой пары снимков была рассчитана картограмма когерентности и затем радарный когерентный композит МТС [2].

Вся площадь лесничества не зависимо от облачности и освещенности была отснята интерферометрическими парами радарных снимков с пространственным разрешением 3 м за 9 дней (одна пара – 2 и 3 октября, вторая пара – 6 и 10 октября). На композите МТС на территорию лесничеств наиболее четко разделяются следующие типы территории: ненарушенный лес – желто-зеленым цветом; участки без растительности (поля с убранным урожаем и свежие вырубки) – яркосиним цветом; участки со слабой природной растительностью (болота, старые вырубки с восстановлением растительности) – бледно-синим цветом с вкраплениями желтого цвета; антропогенные объекты – ярким белым цветом; вода – черным цветом. Вырубки были затем оцифрованы по этим композитам вручную с привлечением дополнительно архивного оптического снимка для более четкого разделения вырубок от обычных полей.

Для задач выявления тех вырубок леса, которые произошли конкретно за период с 2010 по 2011 гг. была поставлена задача генерации радарно-оптического мультивременного композита, отображающего изменения, произошедшие за период между съемкой архивного оптического снимка и новой радарной съемки. Экспериментально было установлено, что когерентность пары радарных снимков с короткой временной базой в несколько суток визуально хорошо коррелируется с оптическим панхроматическим снимком.

## Принципы интерпретации цветов на композите МТС

Относительная выраженность каналов RGB-композита	Итоговый цвет на композите МТС	Тип объекта
Сильная амплитуда обоих снимков, низкая когерентность	Желтый	Естественная природная растительность. В случае наличия текстуры – лес, в случае отсутствия текстуры – поля, луга и т. д.
Сильная амплитуда обоих снимков, высокая когерентность	Белый с оттенками синего	Здания и сооружения, объекты имеющие углы, объекты из бетона и металла, столбы, опоры ЛЭП, железные дороги. Наиболее интенсивный белый цвет в случае, если вышеперечисленные объекты ориентированы параллельно азимуту радарной съемки (т. е. перпендикулярно направлению дальности)
Слабая амплитуда обоих снимков, высокая когерентность	Темно-синий	Плоские поверхности (низкая амплитуда) с высокой когерентностью (из-за отсутствия растительности на этих поверхностях) Голая плоская и (или) влажная земля без изменений за период между радарными съемками. Чем темнее оттенок синего – тем более плоская (либо влажная) поверхность на обоих снимках. Примеры объектов: асфальтированные дороги, взлетно-посадочные полосы аэродромов, политые и засеянные сельскохозяйственные поля
Амплитуда второго снимка больше, чем амплитуда первого, при очень низкой когерентности	Ярко-зеленый (сильные амплитуды у обоих снимков, при этом амплитуда второго снимка выше)	Быстро растущая растительность, участки активно растущих сельхозкультур, новые объекты (техника, сооружения), отсутствующие на первом снимке, но появившиеся на втором)
	Темно-зеленый (слабые амплитуды у обоих снимков, при этом амплитуда второго снимка выше)	Участки голой земли, вспаханные за период между радарными съемками
Амплитуда первого снимка больше, чем амплитуда второго, при очень низкой когерентности	Ярко-красный (сильные амплитуды у обоих снимков, при этом амплитуда первого снимка выше)	Поля, с которых за период между съемками был собран урожай, хорошо отражающие объекты, присутствовавшие на первом снимке и пропавшие на втором
	Темно-красный (слабые амплитуды у обоих снимков, при этом амплитуда первого снимка выше)	Голая земля, увеличившая влагосодержание за период между съемками (например, после дождя или полива)
Все три канала равномерно средне выражены	Темные оттенки красного, зеленого и синего	Щероховатое поле без растительности, влагосодержание которого незначительно изменилось за период между съемками
Очень низкая амплитуда обоих снимков и очень низкая когерентность	Черный или темно-серый цвет	Водная поверхность

Оптический снимок и радарная когерентность были приведены к единым условным единицам яркости и из них был построен композит со следующим набором каналов:

– в красном канале – когерентность фаз двух новых радарных снимков, сделанных с разницей в несколько суток;

– в зеленом канале – архивный оптический панхроматический снимок;

– в синем канале – когерентность фаз двух новых радарных снимков, сделанных с разницей в несколько суток.

На таком оптико-радарном композите новые вырубки, произошедшие за период со времени съемки архивного оптического снимка до времени съемки новых радарных снимков, автоматически выделяются розовым цветом (сочетание ярких красного и синего каналов и темного зеленого канала дает розовый цвет).

С помощью радарных съемок, не зависящих от облачности и освещенности, возможно гарантированно отснять значительные площади лесного фонда России, в том числе, оперативно доотснять участки, не покрытые оптическими съемками к концу съемочного сезона;

На самом амплитудном радарном снимке вырубки выделяются только лишь текстурой и не выделяются цветом, однако на мультивременном радарном композите МТС, вырубки четко выделяются синим цветом на фоне зеленого леса (поскольку они характеризуются слабой амплитудой и высокой когерентностью);

Композит МТС и, в частности, его синий канал (когерентность) хорошо стыкуется с предшествующими архивными оптическими съемками, позволяя не просто выявить имеющиеся вырубки, но и закартировать вырубки, произошедшие конкретно за период между предшествующей оптической и новой радарной съемками.

Композит МТС показал свою пригодность как для тематического картографирования, так и для задач мониторинга изменений в лесном хозяйстве. С таким же успехом он может быть использован для мониторинга сельскохозяйственных процессов, строительства и любой наземной активности, влияющей на изменение амплитуды отражения радарного сигнала и на когерентность фаз радарных съемок.

#### Библиографические ссылки

1. Новый продукт МТС, рассчитываемый по данным COSMO-SkyMed / Л. Пиетранера, Ф. Бритти, Л. Чезарано и др. // Геоматика, Совзонд. 2012. № 1 (14). С. 46–51.

2. Полуавтоматическое выявление вырубок леса на мультивременных радарных и радарно-оптических цветных композитах / Е. В. Бахтинова, А. Ю. Соколов, Д. Б. Никольский, Ю. И. Кантемиров // Геоматика, Совзонд. 2012. № 1 (14). С. 52–55.

#### References

1. Pietranera L., Britti F., Cesarano L. etc. Geomatica, Sovzond, 2012, № 1 (14), pp. 46–51.

2. Bakhtinova Ye. V., Sokolov A. Yu., Nikolskiy D. B., Kantemirov Yu. I. Geomatica, Sovzond, 2012, № 1 (14), pp. 52–55.

© Кантемиров Ю. И., 2013

УДК 528.88

### ПРИМЕНЕНИЕ РАДАРНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ОПОЛЗНЕВЫМИ ПРОЦЕССАМИ НА ГОРНОМ ПРЕДПРИЯТИИ НА ПРИМЕРЕ ОАО «УРТУЙСКИЙ УГОЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ»

В. Д. Хан

Национальный исследовательский иркутский государственный технический университет  
Россия, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83. E-mail: Mithril1990@mail.ru

*Рассматривается возможность осуществления мониторинга деформаций бортов карьера по данным многопроходных радарных съемок.*

*Ключевые слова: деформации земной поверхности, радарные съемки, интерферометрия.*

### APPLICATION RADAR INTERFEROMETRY FOR MONITORING THE LANDSLIDE PROCESSES AT MINING PLANT AT THE EXAMPLE OF JSC “URTUYSKIY COAL MINE”

V. D. Khan

National Research Irkutsk State Technical University  
83 Lermontov st., Irkutsk, 664074, Russia. E-mail: Mithril1990@mail.ru

*In the article the author considers the possibility of monitoring deformations of the coal mine beads according to multipass radar surveys.*

*Keywords: deformation of the earth's surface, radar imaging, interferometry.*

Существуют компании, предлагающие свои услуги в области получения и обработки данных дистанционного зондирования Земли, в целях выявления деформаций бортов карьеров, а также природных и техногенных смещений земной поверхности, деформаций сооружений над месторождениями твердых полезных ископаемых вблизи разработки предприятий. Эти данные позволяют решать приведенные задачи с применением методики интерферометрической обработки серий спутниковых радиолокационных изображений [1].

Данная технология, будучи интегрированной в систему маркшейдерско-геодезических наблюдений, позволяет определять вертикальные и горизонтальные

смещения поверхности и объектов инфраструктуры, а также деформации неразрабатываемых бортов карьера с очень высокой точностью. Основное преимущество метода – это независимая дистанционная оценка смещений по всей площади снимка. Для расчета смещений используется массив спутниковых данных, которые получают с космических аппаратов с определенной периодичностью.

Целью мониторинга с помощью радиолокационных данных является снижение рисков возникновения чрезвычайных ситуаций и уменьшение их возможных последствий за счет современного выявления смещений и деформаций земной поверхности и сооружений.