

# Международный конкурс на лучший тематический проект по обработке и использованию радарных данных для решения задач в различных областях народного хозяйства

Компания «Совзонд» совместно с компаниями Exelis (США, Франция), MDA (Канада) и e-GEOS (Италия) провела конкурс на лучший тематический проект по обработке и использованию радарных данных для решения задач в различных областях народного хозяйства. В конкурсе приняли участие ученые и специалисты различных организаций, научно-исследовательских институтов и университетов России и стран ближнего зарубежья. Все представленные проекты отличаются оригинальными инновационными подходами к использованию радарных космических данных и выполнены на высоком научном уровне, многие разработки доведены до практического внедрения. Представляем вашему вниманию краткий обзор наиболее интересных проектов.

## Выявление площади и состояния залежей (необрабатываемых сельскохозяйственных земель) по радиолокационным снимкам на территории дельты Волги

*Проект представлен лабораторией аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (Россия, Москва).*

Выполнение проекта по обработке и использованию радиолокационных данных для решения задач в различных областях народного хозяйства имело две цели: первая — образовательная: на примере решения конкретной практической задачи внедрить современные радиолокационные данные и методы их обработки в учебный процесс на кафедре картографии географического факультета МГУ (решалась

привлечением к работе студентов); вторая — прикладная: найти пути применения современных радиолокационных данных при выявлении и оценке состояния вышедших из сельскохозяйственного оборота пахотных земель — залежей (решалась путем применения разных методов обработки к предоставленным радиолокационным данным, сравнения результатов с данными, полученными ранее в ходе наземных обследований территории, и дешифрирования оптических снимков).

Для выполнения проекта компанией «Совзонд» был предоставлен ряд разносезонных снимков на территорию дельты Волги: от 11 сентября 2011 г. полнополяризованные (QuadPol) снимки (HH, HV, VV, VH) в режиме съемки WideFine и с уровнем обработки SLC (Single look complex); от 5 и 29 октября снимки в двух поляризациях (DualPol: VV, VH) в режиме WideFine и с уровнем обработки SGF (SAR georeferenced fine).

Для проведения автоматической классификации были созданы RGB-композиции, позволяющие проводить обработку одновременно трех изображений. Результат кластеризации многовременного снимка в вертикальной поляризации при задании 6 классов представлен на рис. 1.

Проведенные эксперименты позволили продемонстрировать базовые возможности программного комплекса ENVI+SARscape при обработке разновременных амплитудных и полностью поляриметрических данных. В работе преимущественно использовались методы обработки, идентичные используемым при обработке изображений оптического диапазона.

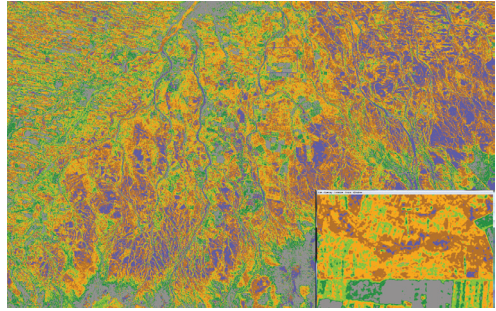
Проведенные эксперименты позволили продемонстрировать базовые возможности программного ком-

плекса ENVI+SARscape при обработке разновременных амплитудных и полностью поляриметрических данных. В работе преимущественно использовались методы обработки, идентичные используемым при обработке изображений оптического диапазона.

По результатам проведенных работ можно выделить два перспективных направления обработки исходных радиолокационных данных. Первый путь — преобразование изображений с целью устранения геометрических искажений и спекл-шума, выполнение преобразований, нацеленных на улучшение их изобразительных свойств (различные методы фильтрации и синтеза) с целью получения производных изображений, пригодных для дешифрирования или обработки совместно со снимками видимого диапазона при одновременном или последовательном (с построением дерева решений) выполнении операций. Второй путь — преобразование, возможные только для радиолокационных данных: интерферометрическая обработка и поляриметрия. В работе особенно эффективными при решении поставленной задачи оказались методы поляриметрической декомпозиции (метод Паули), применение которых в сочетании с кластеризацией позволило разделить залежи по степени развития на них растительности. Как показали проведенные эксперименты, для получения комплексной характеристики залежи целесообразно использовать неконтролируемую классификацию с выделением малого числа классов (в нашем случае 3). Для получения более детальной характеристики — кластеризацию с выделением 4 классов.

Следует отметить, что поставленная задача — выявление и оценка состояния залежей — не может быть решена применением какого-то одного типа данных и, более того, для выявления состояния залежей необходимо значительное участие специалиста-природоведа. Последнее обстоятельство обусловлено тем, что само понятие «заброшенности земель» является относительным, поскольку в сухостепных районах выведение земель из сельскохозяйственного оборота иногда используется как агротехнический прием, способствующий восстановлению плодородия почв. Часто такие земли возвращаются в обработку после нескольких лет «отдыха».

В результате проведенной работы было установлено, что многовременные радиолокационные дан-



*Рис. 1. Результат кластеризации многовременного изображения (ISODATA, 3 итерации, задано 6 классов) и его увеличенный фрагмент*

ные позволяют уверенно отделять земли, используемые с разной степенью активности, и залежные. Последние в отдельных случаях также хорошо разделяются на сухие, практически лишенные растительности (осенью), и закустаренные.

### **Картографирование почвенного покрова с использованием данных радарной съемки SOIL@SAR**

*Проект представлен Институтом космических исследований РАН (Россия, Москва).*

Почвенный покров является основой для производства продуктов питания и от его состояния во многом зависит урожайность, сельскохозяйственных культур. Свойства почв обычно сильно варьируют в пространстве, и их картографирование до сих пор является слаборазработанным. Целью проекта был анализ возможностей использования данных радарной съемки для картографирования агрономически важных свойств пахотных почв и почвенного покрова на примере тестового участка, расположенного на севере Саратовской области.

Для построения карт почвенного покрова использовались радарные данные высокого разрешения со спутника RADARSAT-2 от 04.09.2011, VV-поляризация, разрешение 3 м; от 11.09.2011, VV-поляризация, разрешение 1 м; от 14.09.2011, VV-поляризация, разрешение 7 м; от 14.09.2011, VH-поляризация, разрешение 7 м. Кроме того, при анализе использовались данные со спутника Landsat TM-5, полученные 18.08.2011.

Анализ проводился только для одного поля с открытой поверхностью почв (334 га) (рис. 2). Фоновыми

почвами на данном поле выступают черноземы обыкновенные различного гранулометрического состава (от легко- до тяжелосуглинистых) на делювиальных суглинках. В качестве контрастных компонентов на поле выделяются маломощные черноземы и солонцы черноземные на элювии опок, а также различные варианты смытых (эродированных) почв. Радарные снимки были перед проведением анализа привязаны и скорректированы геометрически.

Проведенные исследования показали, что радарные снимки могут быть использованы как для составления почвенной карты на территорию исследований, так и для дешифрирования отдельных свойств почв.

Получение почвенной карты по радарным снимкам может базироваться на следующих этапах работ:

1) анализ разновременного цветового композита контрастных по влажности почв и визуальное выделение однородных выделов изображения;

2) интерпретация выделов с привлечением материалов полевого почвенно-картографического обследования, т.е. каждый выдел последовательно наполняется следующей атрибутивной информацией:

а) сочетание почвообразующих пород и гранулометрического состава;

б) тип почв или комбинация почв;

в) мощность гумусового горизонта (для черноземов обыкновенных);

г) степень смытости (определяется классом по карте уклонов).

Основное отличие радарной почвенной карты – в ее большей генерализованности по сравнению с картой, полученной по Landsat TM-5. При анализе радарного композита не использовалась автоматизирован-



Рис. 2. Векторная карта однородных сегментов радарного цветового композита: даты съемки 11.09, 04.09, 14.09 (VV-поляризация)

ная процедура классификации. Это связано в первую очередь со спекл-шумом, который затрудняет создание обучающих выборок и приводит к получению неинтерпретируемых результатов классификации.

При совместном использовании радарных данных VH-поляризации и набора каналов Landsat TM-5 достоверно выделяются участки с высоким процентом каменности (выходов пород на поверхность). Смытые почвы, а также участки, покрытые растительными остатками, ошибочно также выделяются как каменные (средние значения каменности). На данном этапе устранить эту проблему не удалось. Требуются дополнительные полевые исследования и отбор точек для более детальной калибровки модели.

### Космический радарный мониторинг деформаций стенок угольного разреза Уртуйский

*Проект представлен Иркутским государственным техническим университетом (Россия, Иркутск).*

Основной целью выполнения проекта было установить, возможно ли по данным многопроходных радарных съемок осуществлять мониторинг деформаций стенок карьера с достаточно высокой точностью.

Угольный разрез Уртуйский, расположенный к северо-западу от г. Краснокаменск, был отснят 15 раз с радарных спутников группировки COSMO-SkyMed (e-GEOS, Италия) в режиме Himage (разрешение 3 м, площадь сцены 40x40 км). На рис. 3 представлена трехмерная модель разреза Уртуйский.

Интерферометрическая обработка была выполнена средствами модуля SARscape Interferogramm Stacking по технологии SBAs.

По результатам дифференциальной интерферометрической обработки закартированы смещения и деформации стенок карьера за период радарных съемок COSMO-SkyMed (сентябрь – ноябрь 2011 г.). В частности, выявлены несколько очагов оседаний, один очаг поднятий земной поверхности в разных частях карьера.

Наиболее крупный по площади и по амплитуде зарегистрированных оседаний участок находится в юго-западной части карьера. Там деформации достигают 6 см за период в два месяца. Полученные результаты показали, что при частоте порядка 6–8 съемок в месяц даже на незастроенной территории

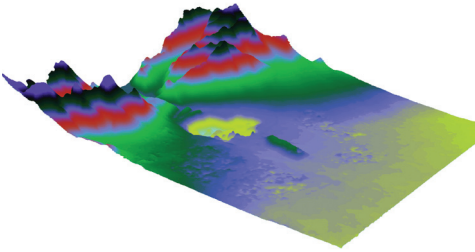


Рис. 3. Трехмерное отображение рассчитанной по данным COSMO-SkyMed цифровой модели местности (ЦММ) на территорию карьера Уртуйский и прилегающих территорий

удается поддерживать когерентность фаз радарных съемок за разные даты на необходимом для выполнения обработки уровне, что делает данную технологию применимой для выполнения реальных работ.

### Исследование свойств земной поверхности для целей эффективного использования территорий

Проект представлен В.Н. Каргаевым (Россия, Красноярский край).

Работы проводились в Красноярском крае с целью исследования возможностей радарной съемки свойств земной поверхности в указанных районах и определения возможности по перспективному использованию средств дистанционного зондирования в интересах муниципальных образований для целей развития территории и охраны окружающей среды. Использовались снимки, полученные со спутника RADARSAT-2 в августе – октябре 2011 г.

В результате обработки радарных данных в программном комплексе SARscape были получены композитные изображения (рис. 4). Изображение содержит в себе параметры свойств земной поверхности, производя анализ и вычисление производных параметров, таких как, когерентность, взаимная корреляция, коэффициенты контраста, среднее значение яркости и др., можно выделить признаки, характерные для отдельных классов. Такой подход к классификации позволяет обрабатывать данные на значительные территории и создавать картографический материал. Возможно использование встроенных алгоритмов классификации программного комплекса.

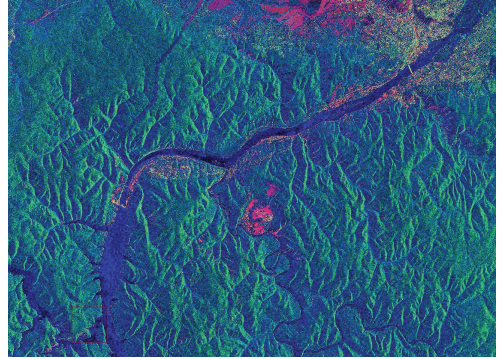


Рис. 4. Композитное изображение сцены района г. Дивногорска

Результаты также могут использоваться при создании композитов. Возможности комплекса позволяют самостоятельно создавать классы.

В результате выполнения проекта получены следующие результаты. Радарная съемка позволяет извлекать из снимков знания о природных структурах, производить мониторинг территорий, создавать классификации данных о земной поверхности, измерять смещения земной коры. Несомненно, такие возможности становятся мощным инструментом, увеличивающим возможности общества.

Применение в хозяйственной деятельности позволяет увеличить точность при принятии решений в градостроительстве, строительстве промышленных предприятий или освоении посевных площадей. Огромное влияние использование космической съемки будет иметь на архитектуру современных городов и поселений.

Данные радарной съемки спутника RADARSAT-2 отличаются высокими геометрическими характеристиками и могут стать источником данных для создаваемых геопорталов разных уровней. Использование актуальных данных на постоянной основе позволяет формировать стратегию развития территории, осуществлять надзор, совершенствовать законодательство. Особенно эффективно применение такого подхода будет для удаленных территорий и поселений, т.е. тех, где отсутствуют или есть недостаток соответствующих служб – для малых городов, поселков, деревень.

### Использование материалов радарной съемки в интересах лесного хозяйства для оценки повреждений в результате стихийных бедствий

*Проект представлен РУП «Белгослес» (Беларусь).*

Материалы радарной съемки в сравнении с мультиспектральными данными характеризуются одним важным преимуществом — оперативностью получения данных вне зависимости от времени дня или ночи, наличия облачности. Это делает их незаменимыми при анализе чрезвычайных ситуаций в лесном хозяйстве, особенно при обнаружении ветровальных и буреломных повреждений насаждений, несанкционированных вырубок леса и т. д.

Целью проводимых исследований являлось выявление возможных вариантов использования материалов радарной съемки (отдельно или в комбинации с мультиспектральными данными) для выделения поврежденных лесных участков вследствие ветровалов и буреломов, рубок леса.

В процессе работ привлекались материалы мультиспектральных съемок со спутниковой системы RapidEye (сразу после ветровальных повреждений, август 2010 г.) и материалы съемки ALOS/AVNIR (съемка выполнялась после ветровалов, июль 2009 г.). В исследованиях использовались материалы радарной съемки в X-диапазоне со спутниковой группировки COSMO-SkyMed на территории Червенского лесхоза, датированные сентябрем 2011 г., с пространственным разрешением 3 и 8 м.

Одним из объектов исследования являлся лесной массив, подверженный стихийным воздействиям

(рис. 5а, 5б, 5в). Как отмечалось ранее, определение поврежденных лесных участков и участков после ликвидации последствий на радарном снимке хорошо представляется в HV-канале с пространственным разрешением 3 м.

Обработка материалов радарной съемки выполнялась в программном комплексе ENVI и программном модуле SARSCAPE.

По результатам проведенных исследований сделан вывод, что технология использования материалов радарной и спектральной съемок для целей обнаружения ветровально-буреломных повреждений лесов может выглядеть следующим образом. На территорию объекта, где имели место сплошные ветровальные повреждения, берутся архивные материалы спектральной съемки RapidEye или ALOS/AVNIR (до повреждений), а также заказывается свежая (после прохождения ветровала) радарная съемка высокого разрешения. Поскольку оперативность получения радарной съемки высока, то указанные материалы можно получить достаточно быстро. Кроме того, мультиспектральные материалы дешевле радарных, поэтому их использование вместо радарной съемки, которая должна выполняться до повреждения насаждений, будет способствовать экономии средств.

После предварительной обработки полученных материалов съемки формируются указанные разновременные композитные изображения, которые в дальнейшем дешифрируются интерактивно. Использование методов автоматизированной классификации не исключается.



Рис. 5а. Анализ ветровальных участков поврежденных лесных насаждений на территории Червенского лесхоза. Съемка до повреждения ALOS/AVNIR

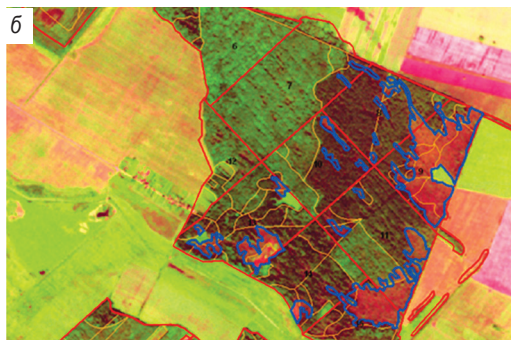


Рис. 5б. Анализ ветровальных участков поврежденных лесных насаждений на территории Червенского лесхоза. Съемка после повреждения RapidEye

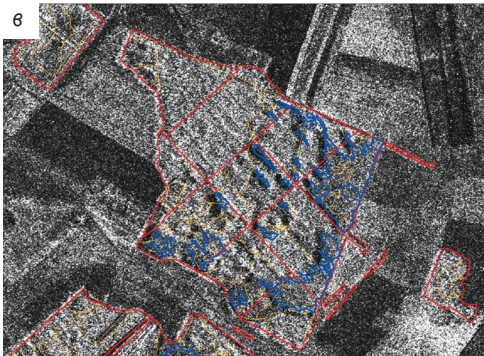


Рис. 5в. Радарная съемка после повреждения COSMO-SkyMed

### Создание цифровой карты вертикальных смещений земной поверхности на участке добычи калийных солей в Республике Беларусь

Проект представлен УП «Геоинформационные системы» НАН Беларуси.

Целью проекта являлось создание цифровой карты вертикальных смещений земной поверхности на участке добычи калийных солей в Республике Беларусь с использованием методов спутниковой радарной интерферометрии. Создание такой карты направлено на своевременную разработку и реализацию необходимых корректирующих и предупреждающих действий на возделываемых землях в районе г. Солигорска.

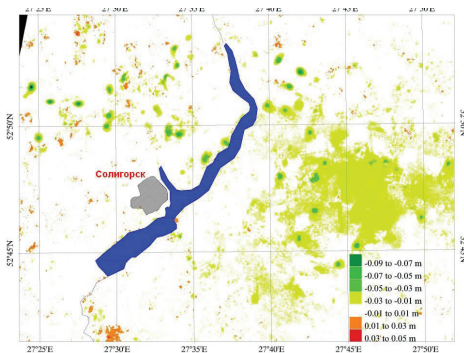


Рис. 6. Карта вертикальных смещений земной поверхности на участке добычи калийных солей за период 13 дней по результатам интерферометрической обработки пары радиолокационных снимков COSMO-SkyMed (23.09.2011 – 06.10.2011)

Реализация проекта позволила построить карту вертикальных смещений земной поверхности района Старобинского месторождения калийных солей (рис. 6) по данным интерферометрической обработки (рис. 7) пары космических снимков COSMO-SkyMed в программной среде SARscape за период с 23 сентября 2011 по 6 октября 2011 г. За 13 дней произошли изменения земной поверхности от  $-8,7$  см (опускание) до  $+3,2$  см (поднятие). Основная часть территории за столь короткий срок практически не претерпела изменений, значения колеблются от  $-1$  см до  $+1$  см, однако на отдельных локальных участках наблюдаются значительные опускания, так называемые мулды проседания, где опускание земной поверхности достигает 9 см. Как правило, они имеют округлую форму диаметром 150–300 м и связаны с добычей калийных солей подземным способом на данной территории.

В ходе выполнения проекта была реализована на практике известная технология выявления вертикальных смещений по данным интерферометрической обработки пары космических снимков COSMO-SkyMed в программе SARscape. Произведено сравнение результатов полевых обследований с полученными данными по радиолокационным снимкам COSMO-SkyMed и сделан вывод об их положительной корреляции.

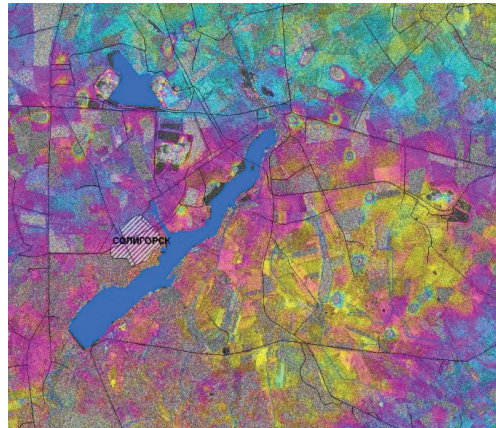


Рис. 7. Дифференциальная интерферограмма, показывающая смещения земной поверхности на участке добычи калийных солей, рассчитанная по паре снимков COSMO-SkyMed за 23.09.2011 и 06.10.2011 г.

Обзор подготовлен Б.А. Дворкиным (Компания «Совзонд»)