

взаимоотношения, проведено расчленение и определен характер залегания стратифицированных образований, выделено значительное количество новых тектонических зон рудоконтролирующего и пострудного характера, уточнено положение известных рудных объектов, выявлены новые перспективные жильно-метасоматические зоны.

#### Литература

1. Ананьев Ю.С., Поцелуев А.А., Житков В.Г. Космоструктурные модели золоторудных объектов Западной Калбы. // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 1. – С. 35 – 41.
2. Поцелуев А.А., Ананьев Ю.С., Анникова И.Ю. и др. Космоструктурная модель района Калгутинского редкометалльного месторождения (Горный Алтай) // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311. – № 1. – С. 45–53.
3. Поцелуев А.А., Ананьев Ю.С., Житков В.Г. и др. Дистанционные методы геологических исследований, прогноза и поиска полезных ископаемых (на примере Рудного Алтая) – 2-е изд., доп. и испр. – Томск: STT, 2010. – 228 с.
4. Поцелуев А.А., Ананьев Ю.С., Житков В.Г. Картирование погребенных палеодолин и кор выветривания по материалам современных космических съемок // Материалы XIV международного Совещания «Россыпи и месторождения кор выветривания: современные проблемы исследования и освоения» (2-10 сентября 2010 г., г. Новосибирск). – Новосибирск, 2010. – С. 570 – 574.

### АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В РАЙОНЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ОСНОВЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

К.Н. Апачиди<sup>1</sup>, О.Р. Верещагин<sup>1</sup>

Научные руководители доцент О.С. Токарева<sup>1</sup>, старший преподаватель Д.В. Мозер<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

<sup>2</sup>Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Казахстан

При добыче угля и других полезных ископаемых происходит оседание земной поверхности и образуются зоны обрушения и сдвижения [6], при этом возникает риск повреждения и разрушения различных объектов на расположенных рядом территориях.

Сдвигение горных пород — перемещение и деформирование массива горных пород вследствие нарушения его естественного равновесия при ведении горных работ. Непосредственно над очистной выработкой слои пород теряют сплошность и обрушаются в выработанное пространство [3].

В Карагандинской области (Казахстан), где в настоящий момент имеется большое количество шахт со значительным объемом выработанного угля, уже зарегистрированы случаи деформации железнодорожного полотна, проседания автомобильных дорог и возникновения трещин на стенах зданий. В связи с этим актуальным является своевременное обнаружение и прогноз процессов оседания в их начальной стадии для предупреждения чрезвычайных ситуаций.

Использование современных возможностей дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса позволяет получать оперативные сведения о местоположении, скорости и характере изменения поверхности. В настоящее время активно развивается спутниковая радарная интерферометрия – метод измерений, использующий эффект интерференции электромагнитных волн. Интерферометрическая обработка пар и серий снимков выполняется, в частности, с целью определения просадок земной поверхности и является одним из уникальных и перспективных направлений в использовании радарных снимков. Например, в [5] изложены результаты применения данных радарных космических снимков, получаемых со спутника ENVISAT для мониторинга территории Карагандинского угольного бассейна.

Целью данной работы является оценка оседания земной поверхности в районе угледобычи на основе радиолокационных данных со спутников Cosmo-SkyMed и данных наземных исследований.

Изучение оседания поверхности проводилось в районе выработки шахты им. Т. Кузубаева в Карагандинской области. Для определения границ опасных участков были совмещены планы горных работ шахты и карта изучаемой территории. В результате обнаружено, что в центре данного участка находится пересечение железнодорожного пути и автодороги А17 вблизи п. Актас. Таким образом, сдвигение и обрушение грунта на рассматриваемом участке может привести к деформации железнодорожного полотна и поверхности автомобильной автодороги, и, в конечном итоге, к опрокидыванию поездов и автокатастрофам.

Для исследований использовались космические радарные снимки со спутников Cosmo-SkyMed 1–4, которые оснащены антенной с синтезированной апертурой, позволяющей выполнять интерферометрическую съемку земной поверхности с пространственным разрешением лучше 1 м на местности. Съемка проводится в X-диапазоне электромагнитного спектра с длиной волны 3,1 см [4]. Получаемая в результате обработки снимков интерферограмма представляет собой разностно-фазовую картину поверхности, которая строится путем комплексного перемножения основного изображения и изображения, комплексно-сопряженного к вспомогательному. Для построения интерферограммы выбрана пара снимков с датами съемки 9 и 13 мая 2014 г.

Построение интерферограммы местности проводилось с использованием модуля Interferometry комплекса SARscape системы для обработки данных ДЗЗ ENVI. SARscape Interferometry предназначен для обработки интерференционных радиолокационных данных (интерферометрия с двух соседних витков, InSAR) и дифференциальных интерференционных радиолокационных данных (интерферометрия n проходов, DInSAR) для создания цифровых моделей рельефа, карт когерентности и смещений/деформаций земной поверхности [4].

Наземная оценка степени оседания на исследуемой территории проводилась одним из классических

методов измерения скорости сдвижения и деформации земной поверхности – нивелированием. В работе использован оптический нивелир NA720 фирмы Leica. Среднеквадратичная ошибка нивелира составляет 2,5 мм на один километр двойного хода, при этом можно измерять расстояния с точностью 1,5 мм при удалении от цели на 30 м. Для объективной оценки степени оседания необходимо проводить 3-4 серии измерений.

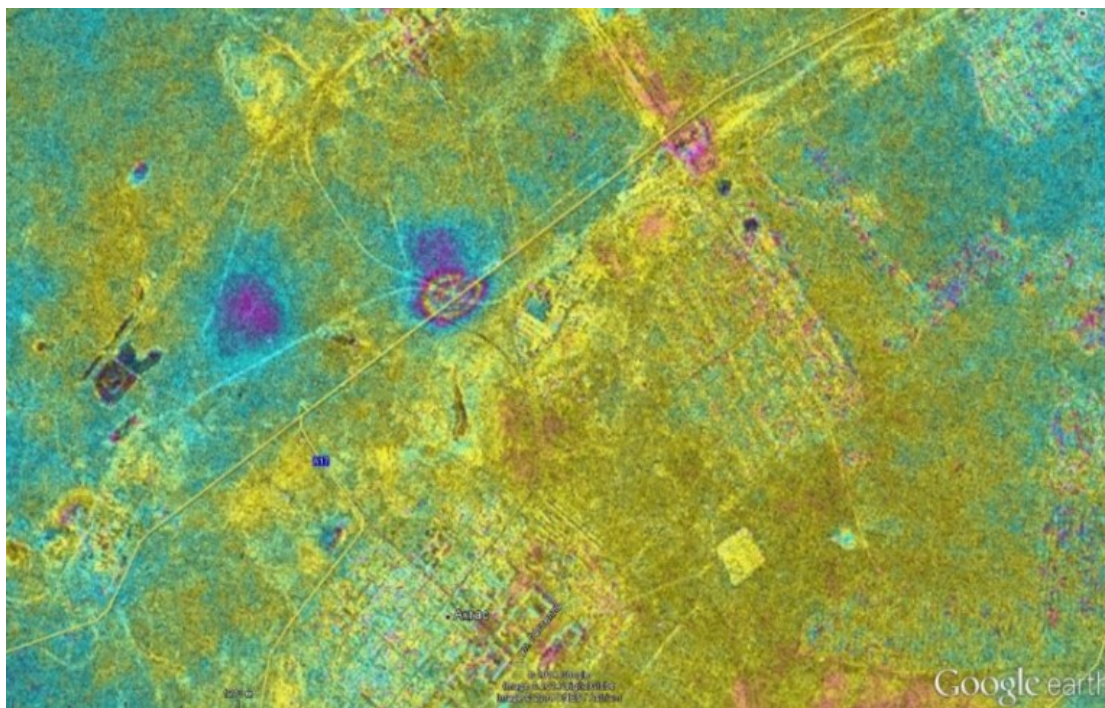
На интерферограмме (рис.), полученной с использованием указанных выше снимков, отчетливо видна зона оседания земной поверхности в виде концентрических окружностей темного и серого цвета в центре рисунка так называемая мульда сдвижения.

Мульда сдвижения — участок земной поверхности, на котором под влиянием отработки полезного ископаемого подземным способом возникли сдвижения (горизонтальные и вертикальные) и деформации (наклон, кривизна, растяжение, сжатие). Величины деформаций зависят от вынимаемой мощности пласта (залежи), глубины горных работ, угла падения пласта (залежи) и площади отработки [2].

Количественная оценка степени оседания поверхности произведена путем создания профилей рельефа местности по изолиниям, построенным по данной интерферограмме. Установлено, что в период с 9 по 13 мая 2014 г. произошло оседание поверхности в пределах от 0,5 до 3 см.

Изложенные результаты были подтверждены при наземном мониторинге исследуемой территории методом нивелирования. На месте расположения железнодорожных путей и прохождения забоя лавы шахты им. Т. Кузембаева были заложены наблюдательные станции для проведения систематических инструментальных наблюдений за оседанием поверхности.

Анализ полученных данных показал постепенное оседание земной поверхности в пределах 1-4 см в период с 24 по 27 мая 2014 г. и размер оседания в пределах 1-7 см в период с 27 мая по 11 июня 2014 г.



*Рис. Интерферограмма изучаемой местности*

Таким образом, по результатам обработки радарных снимков со спутников Cosmo-SkyMed установлено наличие процессов оседания поверхности Земли в районе шахты им. Кузембаева, расположенной в Карагандинской области, что подтверждено данными наземного мониторинга. В качестве дальнейших исследований планируется обработка 20 дополнительных снимков рассматриваемой территории, работа с модулем ENVI SARscape Interferogram Stacking (методы PS и SBAS). Непосредственно, получение следующих данных:

- смещения на каждую дату съемки в миллиметрах;
- среднегодовая скорость смещений;
- суммарная величина смещений;
- восстановление последовательных во времени смещений;
- сравнение результатов измерений оседания земной поверхности при помощи нивелирования и спутниковой радарной интерферометрии.

На основе полученных данных можно производить не только оценку уже произошедших изменений поверхности, но и прогнозировать дальнейшее развитие процесса, величину и направление оседания, используя методы интерполяции данных и принимать своевременные меры для обеспечения безопасности промышленных объектов и населения.

## Литература

1. Sarscape. URL: <http://www.sovzond.ru/products/software/sarscape/> (дата обращения: 12.09.2014).
2. Горная энциклопедия. Мульда сдвижения — М.: Советская энциклопедия. Под редакцией Е. А. Козловского. 1984—1991.
3. Горная энциклопедия. Сдвижение горных пород — М.: Советская энциклопедия. Под редакцией Е. А. Козловского. 1984—1991.
4. Космическая съемка. URL: <http://sovzond.ru/products/spatial-data/satellites/> (дата обращения: 12.09.2014).
5. Мозер Д.В., Туякбай А.С., Гей Н.И., Нагибин А.А., Сатбергенова А.К. Мониторинг подработанных территорий Карагандинского угольного бассейна с использованием спутниковой радарной интерферометрии//Интерэкспо Гео-Сибирь., 2014. – т. 4. – № 1. – С. 14-18.
6. Рыбникова Л.С., Рыбников П.А. Геофильтрационная модель массива горных пород в области влияния отработываемых и ликвидируемых рудников горноскладчатого Урала//Литосфера., 2013. – № 3. – С. 130 – 136.

**СПУТНИКОВЫЙ РАДАРНЫЙ МОНИТОРИНГ ОСЕДАНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА****Н.И. Гей, А.Д. Каранеева, Н.Н. Кузьмич**

Научный руководитель старший преподаватель Д.В. Мозер

**Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Республика Казахстан**

Подземная добыча полезных ископаемых приводит к образованию в горном массиве пустот, которые служат причиной сдвижения земной поверхности. Закладки пустот для предотвращения обрушений вызванных сдвижением массива горных пород по экономическим соображениям в Казахстане применяется крайне редко. В Карагандинской области шахты находятся на близком расстоянии друг к другу и к городу Караганда, который оказался в центре огромного горнодобывающего района, происходят достаточно опасные процессы оседания земной поверхности в местах подработанных подземными выработками.

В настоящей статье рассматриваются вопросы космического радарного интерферометрического мониторинга деформаций земной поверхности на территории Карагандинского угольного бассейна.

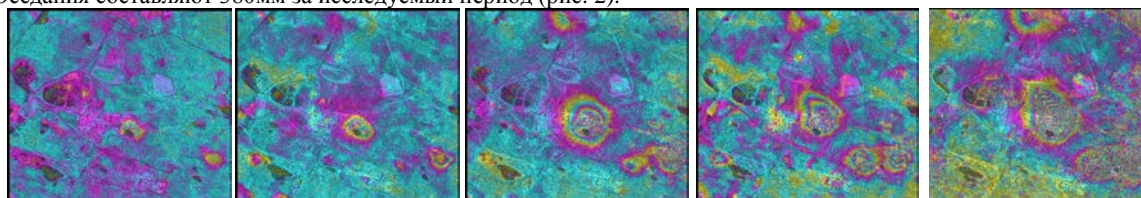
Обработка 28 проходной цепочки COSMO-SkyMed производилась в программном комплексе ENVI модуль SarScape Interferometric Stacking по технологии SBAs, которая включает в себя следующие основные шаги:

1. Автоматическая корегистрация, расчет интерферограммы, синтез фазы рельефа, вычитание фазы рельефа из интерферограммы, фильтрация дифференциальной интерферограммы, расчет когерентности, развертка фазы;
2. Набор точек с известными координатами и высотами для коррекции орбитальных параметров;
3. Расчет скорректированных дифференциальных интерферограмм и развернутых фаз;
4. Инверсия полученных перекрестных во времени развернутых фаз по методике SBAs с восстановлением последовательной во времени истории смещений. При этом в итоге также восстанавливается хронология смещений от первого снимка цепочки до последнего [1, 3].

После анализа дифференциальной интерферограммы, полученной в ходе обработки, были выявлены участки, на которых образовались мульды оседания. Данные мульды оседаний земной поверхности расположены в районах добычи угля шахт имени И. А. Костенко, имени Т.Кузембаева и «Абайская» угольного департамента компании АО «АрселорМиттал Темиртау» [2].

Наибольшие оседания сформировались вблизи территории шахты имени И. А. Костенко - крупнейшем угледобывающем предприятии. На рис. 1 видно образование мульд оседаний, увеличивающихся во времени.

Для визуализации смещений земной поверхности за период исследования в программном комплексе ENVI были построены изолинии по всем 28 космическим снимкам. По результатам обработки оседаний земной поверхности на территории шахты имени Костенко в точке максимального оседания был построен график. Оседания составляют 380мм за исследуемый период (рис. 2).



**Рис. 4. Интерферограммы оседаний земной поверхности в районе шахты имени Костенко**