

### С е к ц и я 3

## **ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ В ПРОВЕДЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДАРНЫХ СНИМКОВ СО СПУТНИКОВ COSMO-SKYMED В РАЙОНЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

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

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

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

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

В настоящее время на территории Карагандинской области республики Казахстан расположено множество шахт с большим объемом выработанного угля. На местах выработок происходит оседание земной поверхности и образуются зоны обрушения и сдвижения. Зоной сдвижения называют участок поверхности, где сдвижение пород происходит без разрыва сплошности, а зоной обрушения – участок, где наблюдается оседание террасами с образованием трещин и нарушением сплошности [2]. Вследствие этого возникает риск повреждения и разрушения различных объектов на расположенных рядом территориях. Так в Карагандинской области уже зарегистрированы случаи деформации железнодорожного полотна, проседания автомобильных дорог и возникновения трещин на стенах зданий.

Использование современных возможностей дистанционного зондирования Земли 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. 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.

Целью данной работы является оценка степени оседания почвы на основе радиолокационных данных дистанционного зондирования Земли и их сопоставление с данными, полученными в результате наземных измерений методом нивелирования.

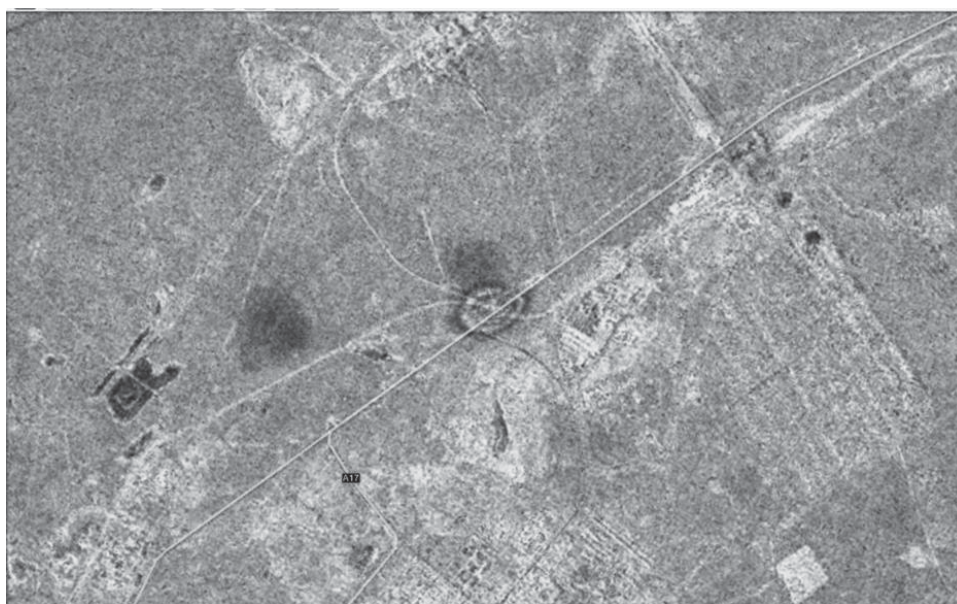
Исследование оседания поверхности проводилось в районе выработки шахты им. Т. Кузембаева в Карагандинской области. Для определения границ опасных участков было совмещены планы горных работ шахты и карта изучаемой территории в Google Maps. В результате было определено, что в центре данного участка находится пересечение железнодорожного пути и автотрассы А17 вблизи поселка Актас. Таким образом, сдвигание 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 [1]. Для построения интерферограммы выбрана пара снимков с датами съемки 9 и 13 мая 2014 г.

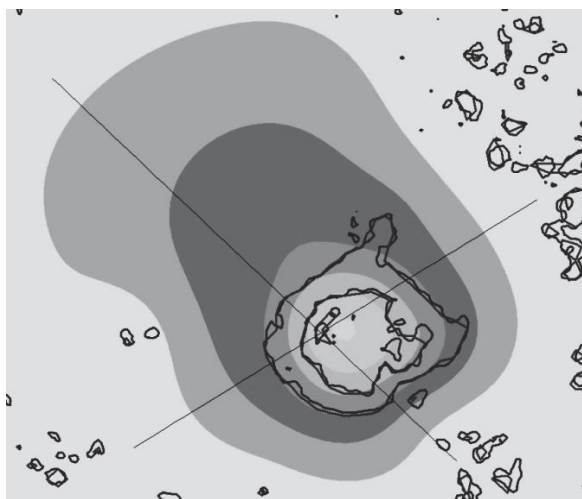
Построение интерферограммы местности проводилось с использованием модуля Interferometry комплекса SARscape системы для обработки данных дистанционного зондирования Земли ENVI. SARscape Interferometry предназначен для обработки интерференционных радиолокационных данных (интерферометрия с двух соседних витков, InSAR) и дифференциальных интерференционных радиолокационных данных (интерферометрия n проходов, DInSAR) для создания цифровых моделей рельефа, карт когерентности и смещений/деформаций земной поверхности [3].

На интерферограмме (рис. 1), полученной с использованием указанных выше снимков, отчетливо видна зона оседания земной поверхности в виде концентрических окружностей темного и серого цвета в центре рисунка.



*Рис.1 Интерферограмма изучаемой местности*

Количественная оценка степени оседания поверхности произведена путем создания профилей рельефа местности по изолиниям (рис. 2), построенным по данной интерферограмме. Помимо изолиний и линий создания профилей, на рис. 2 градациями серого цвета показана интерполированная поверхность, построенная на основе полученных данных, позволяющая прогнозировать развитие процессов оседания. Установлено, что в период с 9 по 13 мая 2014 г. произошло оседание поверхности в пределах от 0,5 до 3 см.



***Рис.2*** *Изолинии на участке оседания поверхности с нанесенными линиями построения профиля и интерполированной поверхностью*

Изложенные результаты были подтверждены данными наземного мониторинга, полученными с использованием нивелирования – одного из классических методов измерения скорости сдвижения и деформации земной поверхности, позволяющего выявить степень оседания почвы. Нивелирование осуществлялось оптическим нивелиром 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.

На месте расположения железнодорожных путей и прохождения забоя лавы шахты им. Кузембаева были заложены наблюдательные

станции, на которых проводятся систематические инструментальные наблюдения. На исследуемой территории было проведено 3 серии измерений, которые указывают на развитие процессов сдвижения поверхности во времени. Даты и результаты измерений представлены в таблице.

**Таблица**

**Результаты измерений по трем сериям наблюдений**

Номер репера	1 серия 24.05.14	2 серия 27.05.14		3 серия 11.06.14	
	Абс. отметка Н <sub>абс.1</sub> , М	Абс. отметка Н <sub>абс.2</sub> , М	ΔН, м	Абс. отметка Н <sub>абс.3</sub> , М	ΔН, м
<b>I Наблюдательная станция</b>					
Твердая точка	527,350	527,350	0	527,350	0
R1	527,236	527,236	0	527,235	-0,001
R2	527,299	527,299	0	527,297	-0,002
R3	525,298	525,290	-0,008	525,317	-0,027
R4	524,764	524,750	-0,014	524,759	-0,009
R5	523,785	523,765	-0,020	523,746	-0,019
R 6	522,024	522,940	-0,084	521,845	-0,095
R 6-1		521,161	0	521,235	-0,074
<b>II Наблюдательная станция</b>					
R 7	524,200	524,172	-0,028	524,155	-0,017
R 6	522,025	521,940	-0,085	521,845	-0,095
R 8	519,972	519,952	-0,020	519,993	-0,041
R 9	519,311	519,293	-0,018	519,210	-0,083
R 10	518,520	518,506	-0,014	518,445	-0,061
R 11	516,673	516,678	0,005	516,666	-0,012
R 12	516,051	516,060	-0,009	515,996	-0,064
R 13		515,614	0	515,519	-0,095
R 14		515,851	0	515,949	0,098

По проведенным сериям измерений было установлено постепенное оседание земной поверхности в пределах 1-8 см в период с 24 по 27 мая 2014 г. Третья серия измерений показала размер оседания в пределах 1-9 см в период с 27 мая по 11 июня 2014 г.

Таким образом, по результатам обработки радарных данных со спутников Cosmo-SkyMed установлено наличие процессов оседания поверхности Земли в районе шахты им. Кузембаева, расположенной в Карагандинской области, что подтверждено данными наземных измерений. 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. Космическая съемка. URL: <http://sovzond.ru/products/spatial-data/satellites/> (дата обращения: 12.09.2014).
2. Рыбникова Л.С., Рыбников П.А. Геофильтрационная модель массива горных пород в области влияния обрабатываемых и ликвидируемых рудников горноскладчатого Урала//Литосфера. – Екатеринбург, 2013. – № 3. – С. 130 – 136.
3. Sarscape. URL: <http://www.sovzond.ru/products/software/sarscape/> (дата обращения: 12.09.2014).

### **РУКОВОДСТВО ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ СКОРОСТНОГО ПРОВЕДЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ РАЗВЕДКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА**

**В. Г. Лукьянов**

*Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет, г. Томск, Россия*

Сокращение сроков разведки месторождений и ввод их в эксплуатацию выдвигает в качестве одной из главных задач увеличение