

**Махонин Егор Андреевич**, магистрант  
КарТУ им. Абылкаса Сагинова  
Makhonin Yegor Andreevich  
Abylkas Saginov Karaganda Technical University

**ИНТЕГРАЦИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ И СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ДЛЯ МОНИТОРИНГА И АНАЛИЗА ОСАДОК ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ  
НА ШАХТЕ ИМ. КОСТЕНКО  
INTEGRATION OF GEODETIC AND SATELLITE TECHNOLOGIES FOR  
MONITORING AND ANALYSIS OF SURFACE SUBSIDENCE AT KOSTENKO MINE**

**Аннотация.** В статье рассматривается вопрос внедрения комплексного мониторинга осадок земной поверхности на шахте им. Костенко. Рассмотрены действующая традиционная геодезическая система мониторинга, горно-геологические условия и преимущества интеграции наземных методов (нивелирование, тахеометрия, GNSS) со спутниковыми технологиями (SBAS-InSAR по данным Sentinel-1).

**Abstract.** The article examines the implementation of integrated monitoring of surface subsidence at the Kostenko mine. The current traditional geodetic monitoring system, mining-geological conditions of the deposit, and the benefits of integrating ground-based methods (leveling, tacheometry, GNSS) with satellite technologies (SBAS-InSAR using Sentinel-1 data) are considered.

**Ключевые слова:** Осадки земной поверхности, геодезический мониторинг, SBAS-InSAR, GNSS, деформации подработанной территории, комплексный мониторинг.

**Keywords:** Surface subsidence, geodetic monitoring, SBAS-InSAR, GNSS, undermined territory deformations, integrated monitoring.

Шахта имени Костенко – одно из крупнейших предприятий Карагандинского угольного бассейна, расположенное в г. Караганде Республики Казахстан. Добыча угля ведётся подземным способом на глубинах более 800 м. Интенсивная отработка пластов приводит к образованию мульд оседания земной поверхности, что создаёт риски для инфраструктуры, зданий, дорог и экологической ситуации в регионе. Максимальные осадки могут достигать десятков сантиметров над отработанными лавами [1].

В настоящее время на шахте применяется традиционный геодезический мониторинг, основанный на сети деформационных реперов и марок, с проведением периодического высокоточного нивелирования и тахеометрической съёмки. Этот метод обеспечивает высокую локальную точность (до 1-3 мм по высоте), однако характеризуется ограниченным пространственным охватом, высокой трудоёмкостью и зависимостью от погодных условий. Наблюдения носят дискретный характер и не всегда позволяют оперативно выявлять новые зоны активных деформаций.

Цель статьи – обосновать эффективность комплексного применения геодезических и спутниковых технологий для мониторинга и анализа осадок земной поверхности на примере шахты им. Костенко.

Горно-геологические условия шахты характеризуются наличием слабых пород кровли (аргиллиты, алевролиты), склонных к выветриванию и снижению прочности при увлажнении. Подработанная территория охватывает значительные площади, где развиваются как постепенные осадки, так и более динамичные деформационные процессы.

Для преодоления ограничений традиционных методов предлагается комплексный подход, включающий:

Наземную компоненту – действующую сеть реперов, усиленную периодическими GNSS-измерениями с помощью двухчастотных спутниковых приёмников типа Trimble или Leica для повышения оперативности контроля.

Спутниковую компоненту – обработку данных Sentinel-1 методом малых базисов (SBAS-InSAR), обеспечивающую широкий пространственный охват и миллиметровую точность вертикальных смещений с периодичностью 6-12 дней.



Интеграцию данных – совместную обработку в программных средах SNAP (ESA), SARscape, ArcGIS/QGIS с использованием наземных измерений для валидации и калибровки спутниковых результатов.

К преимуществам предлагаемого комплекса относятся:

Значительное увеличение пространственного охвата (от отдельных точек к всей подработанной территории); Возможность ретроспективного анализа архивных спутниковых данных; Повышение оперативности выявления зон риска; Снижение трудозатрат на полевые работы при сохранении высокой точности;

Предварительный анализ существующих данных (включая результаты предыдущих исследований методом InSAR) показывает хорошую сходимость спутниковых и наземных измерений на контрольных участках. Максимальные скорости вертикальных осадков на отдельных участках шахты им. Костенко в периоды активной отработки достигали десятков сантиметров в год [1].

Таблица 1

Сравнительная характеристика методов мониторинга осадков

Метод	Точность (мм)	Пространственный охват	Периодичность	Основные ограничения
Высокоточное нивелирование	±1-3	Локальный (отдельные точки)	Ежемесячно/ квартал	Высокая трудоёмкость, зависимость от погоды
Электронная тахеометрия	±5-15	Локальный / линейный	Ежемесячно/ квартал	Ограниченный пространственный охват
GNSS	±15-25	Точечный / сеть	Ежемесячно или чаще	Высокая стоимость оборудования
SBAS-InSAR (Sentinel-1)	±10-20	Площадной (десятки км <sup>2</sup> )	6-12 дней	Влияние атмосферы, необходимость валидации

Вывод: Внедрение системы комплексного мониторинга с применением современных геодезических и спутниковых технологий на шахте им. Костенко позволит перейти от периодического контроля к прогнозному анализу развития осадков земной поверхности. Такой подход обеспечит своевременное геомеханическое районирование подработанной территории, оперативное выявление зон риска и корректировку мероприятий по промышленной безопасности. Предлагаемая система сочетает высокую точность традиционных наземных методов с широким пространственным охватом и ретроспективными возможностями спутниковых технологий (SBAS-InSAR). Реализация данного комплекса актуальна в условиях планируемого увеличения объёмов добычи и соответствует современным требованиям обеспечения безопасности горных работ. Подобный подход может быть рекомендован и для других предприятий Карагандинского угольного бассейна.

#### Список литературы:

1. Satbergenova A. et al. InSAR-Based Assessment of Land Subsidence Induced by Coal Mining in Karaganda, Kazakhstan // Journal of Remote Sensing. 2025

