

Код МРНТИ 36.23.31

А.А. Алтаева¹, *Б.Б. Садыков², А. Акзамбекулы¹, Т.Е. Назыров¹
 ТОО «Международная образовательная корпорация» (г. Алматы, Казахстан),
 ТОО «Leica Geosystems» (г. Алматы, Казахстан)

ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ И НАЗЕМНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОСАДОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ВБЛИЗИ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ

Аннотация. На Анненском участке Джекказганского месторождения при подземной добыче наблюдаются значительные вертикальные осадки земной поверхности, угрожающие инфраструктуре и безопасности работ. Для анализа применен интегрированный подход, включающий спутниковую интерферометрию SBAS-InSAR, высокоточные GNSS-наблюдения и нивелирование. Мониторинг проводился с 2018 по 2024 годы на основе данных Sentinel-1 и наземных измерений, что обеспечило точное выявление деформаций. Максимальные осадки достигали -28 мм/год, преимущественно в зонах старых выработок и горного давления. Сопоставление данных подтвердило точность методов. Анализ позволил разграничить техногенные и природные осадки, что важно для управления рисками. Методика подходит для долговременного мониторинга и повышения безопасности эксплуатации.

Ключевые слова: земная поверхность, мониторинг деформаций, смещения, техногенные осадки, геоинформационный анализ, GNSS-наблюдения, нивелирование.

Кеніш алаңдары маңындағы шөгү процестерін бағалауда спутниктік және жерүсті әдістерін қолдану
 Андатпа. Анненск кеніші, Жезказған кен орнының жерасты өндіру кезінде жер бетінің сәуір вертикалды сөггілулері байқалады, бұл инфрақұрылым мен қауіпсіздікке қауіп төндіреді. Зерттеу үшін SBAS-InSAR спутниктік интерферометриясы, жоғары дәлдікті ЖНСЖ бақылаулары және нивелирлеу әдістері біріктірілді. Мониторинг 2018–2024 жылдары Sentinel-1 спутниктері мен жердегі өлшеулер негізінде жүргізілді. Максималды сөггілулер -28 мм/жылға дейін жетті, көбінесе ескі өндіру орындары мен тау-кен қысым аумақтарында. Мәліметтерді салыстыру әдістердің дәлдігін көрсетті. Техногендік және табиғи сөггілулерді айыру тәуекелдерді басқаруға көмектеседі. Ұсынылған әдіс ұзақ мерзімді бақылау мен қауіпсіздікті арттыруға тиімді.

Түйінді сөздер: жер беті, деформацияларды бақылау, жылжулар, техногенді шөггілулер, геоақпараттық талдау, ЖНСЖ бақылаулары, нивелирлеу.

Application of satellite and ground-based methods for assessing subsidence processes near mining fields

Abstract. Significant vertical subsidence of the earth's surface is observed at the Annen section of the Jezkazgan deposit during underground mining, posing risks to infrastructure and safety. An integrated approach combining SBAS-InSAR satellite interferometry, high-precision GNSS observations, and leveling was applied. Monitoring from 2018 to 2024 used data from Sentinel-1 satellites and ground measurements. Maximum subsidence reached -28 mm/year, mainly near old workings and areas of mining pressure. Data comparison confirmed method accuracy. Differentiation of technogenic and natural subsidence aids risk management. The proposed method is effective for long-term monitoring and enhancing operational safety.

Key words: earth surface, deformation monitoring, displacements, technogenic subsidence, geoinformation analysis, GNSS observations, levelling.

Введение

Осадочные процессы, возникающие в результате подземной добычи полезных ископаемых, представляют серьезную геомеханическую и инженерную проблему. Эти процессы сопровождаются изменением напряженно-деформированного состояния массива горных пород и, как следствие, ведут к формированию осадков земной поверхности различной интенсивности. Особенно остро данная проблема стоит в районах с длительной историей горных работ, где наблюдаются кумулятивные деформации, оказывающие влияние на промышленную, транспортную и жилую инфраструктуру [1, 2]. В Казахстане подобные явления актуальны для многих горнопромышленных регионов, в том числе Центрального Казахстана, где расположено Анненское месторождение.

Анненское месторождение – один из значимых объектов медной промышленности региона, характеризующийся сложной геологической структурой, наличием тектонически нарушенных зон и значительными объемами подземной добычи. В таких условиях повышается риск развития техногенных геодинамических процессов, в том числе провалов, трещинообразования, локальных и площадных осадков поверхности [3]. Мониторинг этих процессов необходим не только для обеспечения безопасных условий эксплуатации шахт, но и для оценки рисков воздействия на окружающую среду и населенные пункты, находящиеся в зоне влияния.

В традиционной практике контроля над осадками земной поверхности применяются методы геодезического нивелирования и GPS/GNSS-наблюдений, которые обе-

спечивают высокую точность, но требуют значительных трудовых и временных ресурсов, а также не всегда позволяют охватить большие территории [4]. В последние десятилетия значительное развитие получили дистанционные методы мониторинга, в частности, спутниковая радиолокационная интерферометрия (InSAR), позволяющая получать данные об осадках с сантиметровой точностью в режиме реального времени или близки к нему [5, 6].

Особую ценность представляет метод Small Baseline Subset (SBAS-InSAR), позволяющий анализировать временные ряды спутниковых снимков и выявлять малые деформации с высокой достоверностью. Его применение особенно эффективно при наличии архивных спутниковых данных, таких как Sentinel-1, что делает возможным ретроспективный анализ и выявление закономерностей деформационных процессов [7, 8]. Однако данные InSAR требуют верификации и калибровки по наземным измерениям, в первую очередь GNSS и нивелированию. Поэтому наибольший эффект достигается при интеграции спутниковых и традиционных методов наблюдения [9, 10].

Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью создания надежной системы мониторинга осадков земной поверхности в районе Анненского месторождения, где в последние годы наблюдаются признаки активизации геодинамических процессов. Новизна работы заключается в применении комплексного подхода, сочетающего спутниковые и наземные данные, с последующей их пространственно-временной интеграцией в среде геоинформационных систем (ГИС).

Цель исследования – оценка эффективности совместного использования спутниковой интерферометрии (SBAS-InSAR) и наземных методов (GNSS, нивелирование) для детектирования и анализа осадочных процессов в районе Анненского месторождения. Задачи исследования включают: анализ геологической и горнотехнической обстановки исследуемой территории; сбор, обработку и интерпретацию спутниковых и наземных данных; пространственный анализ зон деформаций; выявление закономерностей осадочных процессов.

Полученные результаты могут быть использованы для принятия обоснованных управленческих решений в сфере промышленной безопасности, рационального недропользования, а также для построения прогностических моделей поведения земной поверхности при дальнейшем развитии горных работ.

Объект и методы исследования

Джезказганское медное месторождение, расположенное в центральной части Казахстана (Карагандинская область), представляет собой один из крупнейших в мире стратиформных сульфидных медных объектов. Рудоносность приурочена к верхнепротерозойским красноцветным толщам, представленных чередующимися слоями песчаников, алевролитов, аргиллитов и конгломератов. Месторождение характеризуется платформенным типом залегания рудных тел, что обуславливает сравнительно устойчивые условия ведения горных работ. Тем не менее, на ряде участков наблюдаются тектонические нарушения, разломы, субвертикальные сбросы и тектонические трещины, что может способствовать развитию локальных деформаций.

Шахта Анненская, одна из ключевых действующих шахт Джезказганского рудного поля, эксплуатируется с середины XX века. За десятилетия добычи здесь сформировались крупные подземные полости, в результате чего изменился естественный режим напряжений в массиве. Это обуславливает развитие осадочных процессов, проявляющихся в виде постепенных и дифференцированных вертикальных смещений земной поверхности. Наблюдение и оценка этих процессов является важной задачей для обеспечения устойчивости инженерных сооружений и прогнозирования возможных аварийных ситуаций.

Настоящее исследование основано на комплексном подходе к мониторингу осадочных процессов, включающем интеграцию спутниковых (дистанционных) и традиционных наземных методов. Такой подход позволяет получить как широкую пространственную охватность (за счет InSAR), так и высокоточную локальную верификацию (за счет GNSS и нивелирования).

Спутниковый мониторинг методом SBAS-InSAR

Метод интерферометрической обработки радарных изображений (InSAR) позволяет детектировать деформации земной поверхности с сантиметровой и даже миллиметровой точностью. В рамках работы использован подход Small Baseline Subset (SBAS-InSAR), позволяющий анализировать многовременные спутниковые снимки с малым интерферометрическим базисом.

Для анализа использовались данные спутников Sentinel-1A и Sentinel-1B, предоставляемые в рамках программы Copernicus Европейского космического агентства (ESA). Объект охвата: территория радиусом около 10 км вокруг шахты Анненская. Период наблюдений – с января 2018 года по март 2024 года. Всего обработано более 120 сцен в формате SLC (Single Look Complex).

Обработка данных выполнялась с использованием следующих программных решений: ESA SNAP Toolbox – начальная калибровка, выравнивание изображений, генерация интерферограмм; StaMPS (Stanford Method for Persistent Scatterers) – реализация SBAS-алгоритма, построение временных рядов и скоростных карт деформаций; SNAPHU – фазовая развертка интерферограмм.

В результате получены пространственные карты вертикальных смещений и временные ряды осадочных процессов (рис. 1) [11]. Разрешение по пространству составило 14 x 14 м, точность оценки скорости – порядка 2–5 мм/год.

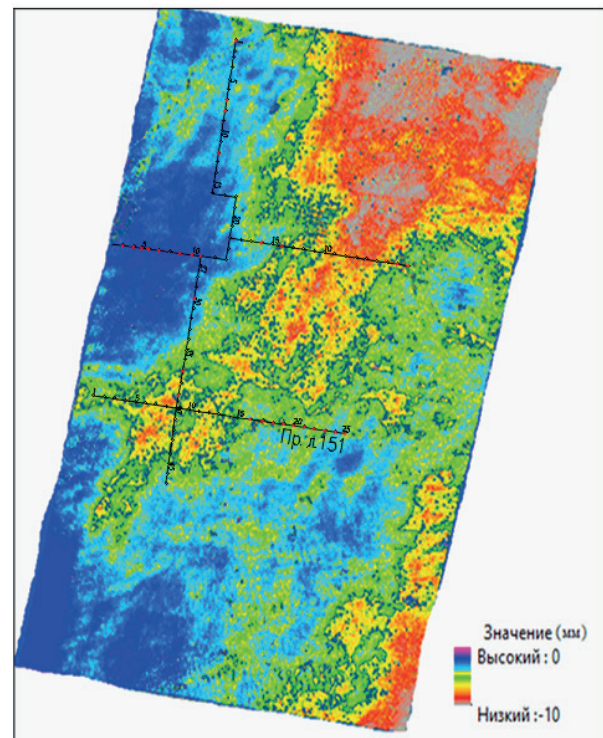


Рис. 1. Карта смещений земной поверхности на Анненском руднике за период с января 2018 года по март 2024 года.

Сурет 1. Аннен кенішіндегі жер бетіндегі ығысу картасы (2018 жылғы қаңтар – 2024 жылғы наурыз аралығы).

Figure 1. Surface displacement map at the Annensky mine from January 2018 to March 2024.

Особое внимание уделено интерпретации зон с ускоренными осадками, превышающими -10 мм/год, которые потенциально указывают на опасные участки геодинамической активности, связанные с выработанными пространствами и зонами ослабления пород.

GNSS-наблюдения

GNSS-наблюдения были проведены на опорных пунктах, установленных в пределах потенциально деформируемых зон, включая территорию над горными выработками и вблизи инфраструктурных объектов (шахтные здания, промышленные объекты, транспортные пути).

Для измерений использовалось современное геодезическое оборудование (GNSS-приемники), обеспечивающее высокоточное позиционирование в режиме статистики и кинематики. Координаты пунктов определялись в системе WGS 84, дальнейшая обработка выполнялась в специализированном программном обеспечении для постобработки GNSS-данных.

Наблюдения велись в два этапа:

первый – в августе 2022 г. (базовое состояние);

второй – в сентябре 2023 г. (повторное измерение).

По результатам наблюдений выявлены локальные осадки на отдельных участках, соответствующие спутниковым данным (сходимость в пределах 1–2 см), что подтверждает достоверность InSAR-результатов (рис. 2). На нескольких пунктах зафиксированы ускоренные смещения до 25 мм/год, что коррелирует с участками максимальных значений по спутниковым данным.

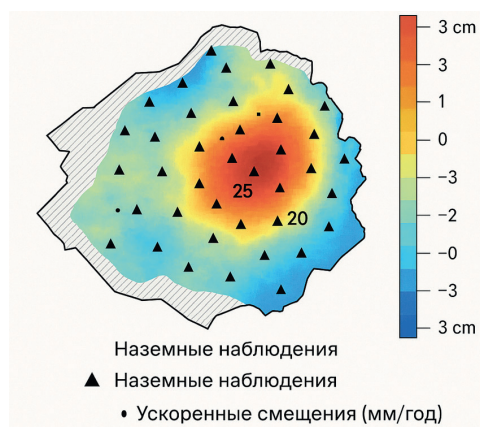


Рис. 2. Результаты GNSS-наблюдений.
Сурет 2. GNSS-бақылау нәтижелері.
Figure 2. GNSS observation results.

Геодезическое нивелирование

Для получения высокоточных данных по вертикальным перемещениям были проведены циклы прецизионного нивелирования II класса. Использовалось современное цифровое нивелирное оборудование, обеспечивающее точность измерений до 0.3 мм/км.

Маршруты нивелирования пролегли через опорные пункты в зоне шахтных полей, включая участки с признаками деформаций, а также контрольные участки вне зоны влияния. Повторные измерения проводились с интервалом 12 месяцев, что позволило вычислить годовую скорость осадков.

Максимальные величины осадков зафиксированы на участке вблизи главного ствола шахты и в районе старых выработок. Величины осадков составили от 5 до 27 мм/год. Результаты нивелирования использованы как опорные

данные для калибровки InSAR-моделей и подтверждения GNSS-наблюдений.

Геоинформационная обработка и интеграция данных

Интеграция спутниковых и наземных данных проводилась в среде ArcGIS Pro. Все результаты были приведены к единой системе координат и привязаны к цифровой модели рельефа (ЦМР), созданной на основе данных ASTER и локального ЛИДАР-сканирования.

В систему были загружены следующие слои:

карты осадков по данным InSAR (SBAS);

координаты и векторы смещений по GNSS;

точки нивелирования с атрибутивной информацией;

шахтные контуры и подземные выработки (векторные планы);

геологические карты (трещиноватость, разломы);

инфраструктура (дороги, здания, водоемы).

Путем пространственного анализа (инструменты Overlay и Spatial Analyst) определены участки пересечения зон активных осадков с инженерной и природной инфраструктурой. Это позволило выделить потенциально опасные участки и зоны дальнейшего контроля.

Следует отметить, что методы InSAR чувствительны к погодным условиям, растительному покрову и геоморфологии поверхности. В условиях городской застройки и в районах с изменчивым рельефом возможны ошибки фазовой развертки и снижение плотности отражателей. Поэтому обязательным этапом являлась фильтрация данных, исключение участков с низкой когерентностью и перекрестная валидация наземными измерениями.

GNSS и нивелирование, в свою очередь, требуют периодических выездов и доступа к реперам, что ограничивает их оперативность, но обеспечивает эталонную точность. Интеграция различных методов позволяет нивелировать слабые стороны каждого из них, обеспечивая объективную картину деформационных процессов.

Выводы

Результаты исследования позволили выявить пространственно и временно детализированную картину осадочных процессов в районе шахты Анненская. Использование интегрированного подхода, включающего спутниковые и наземные методы, обеспечило как охват большой территории, так и локальную высокоточную оценку смещений земной поверхности.

Анализ результатов интерферометрической обработки спутниковых снимков Sentinel-1 показал наличие устойчивых негативных трендов вертикальных смещений на территории, прилегающей к шахтному полю (рис. 3). Основные деформации локализованы:

вблизи главного ствола шахты Анненская;

в зоне старых выработок западного блока;

вдоль инфраструктурных коридоров (подъездные пути, коммуникации).

Скорости осадков в указанных зонах достигают -20...-28 мм/год, при этом область наибольшей концентрации деформаций занимает площадь около 1,6 км². Динамика осадков в этих участках носит квазилинейный характер, что свидетельствует об их техногенной природе.

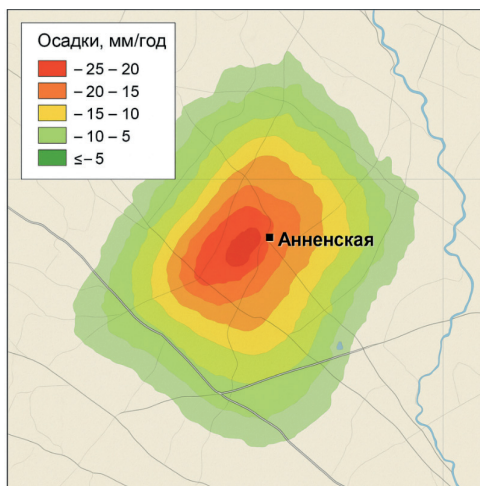


Рис. 3. Результат интерферометрической обработки спутниковых снимков Sentinel-1.
Сурет 3. Sentinel-1 спутниктік суреттерін интерферометриялық өңдеу нәтижесі.
Figure 3. Result of interferometric processing of Sentinel-1 satellite images.

На периферии шахтного поля (более 2 км от действующих выработок) зарегистрированы осадки, не превышающие -5 мм/год, что укладывается в допустимые фоновые геологические значения. Это позволяет определить границы влияния горных работ на поверхность.

Результаты GNSS-наблюдений подтвердили наличие осадков на тех же участках, что и спутниковые данные. На двух ключевых пунктах, расположенных в пределах активной зоны, зафиксированы вертикальные смещения на 22 мм и 25 мм соответственно за год (рис. 4). Эти значения практически совпадают с данными InSAR, расхождение составляет менее 10%, что находится в пределах допустимой погрешности.

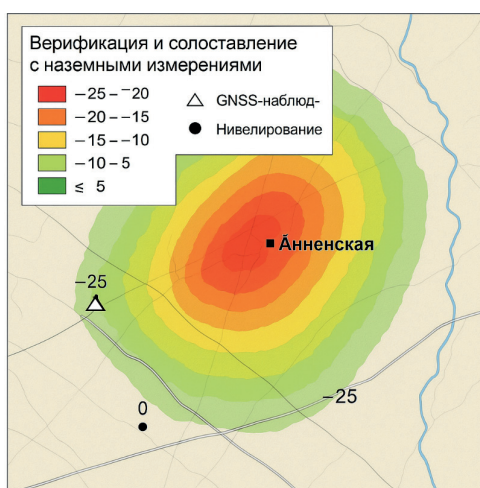


Рис. 4. Верификация и сопоставление с наземными измерениями.
Сурет 4. Жерүсті өлшеулермен верификация және салыстыру.
Figure 4. Verification and comparison with ground-based measurements.

На реперах, расположенных вне зоны влияния шахты (контрольная группа), смещения были незначительными (0–3 мм), что подтверждает надежность фиксации процессов именно в пределах зоны выработок.

По результатам двух циклов прецизионного нивелирования, выполненных в 2022 и 2023 годах, выявлены осадки на отдельных участках маршрута: максимальные значения: 26,4 мм/год; средние значения по зоне деформации: 18,7 мм/год.

Профильные графики по линии нивелирного маршрута (пересекающего шахтную зону) показали четкую вогнутую форму осадочной воронки. Центр воронки совпадает с зоной наиболее интенсивных подземных выработок и расположен в пределах 200 м от ствола шахты.

Сопоставление карт осадков с инженерно-геологической информацией позволило установить корреляцию между зонами максимальных деформаций и следующими факторами: плотностью горных выработок (чем больше глубин и объем добычи, тем выше скорость осадков); близостью к тектоническим нарушениям (вдоль локальных разломов наблюдаются резкие градиенты осадков); типом пород: в районах с повышенной трещиноватостью (аргиллиты и алевролиты) осадки более выражены, чем в зонах с массивными песчаниками (рис. 5).

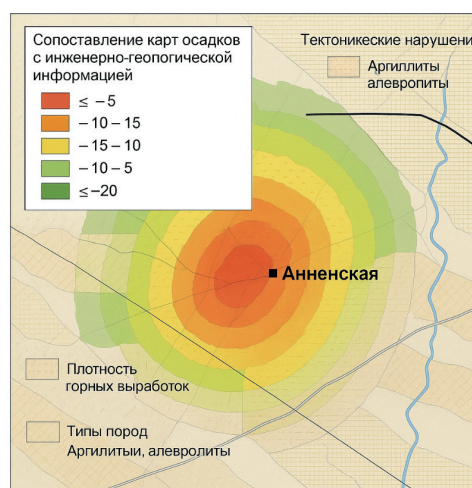


Рис. 5. Сопоставление карт осадков.
Сурет 5. Шөгү карталарын салыстыру.
Figure 5. Comparison of subsidence maps.

Пространственный анализ также выявил зоны, в которых осадки земной поверхности распространяются на территорию промышленной инфраструктуры: административные здания, линии электропередачи, дороги. В одной из таких зон зафиксировано проседание основания асфальтового покрытия, что потенциально свидетельствует о влиянии деформаций на эксплуатационные характеристики объектов.

Построенные временные ряды по данным SBAS-InSAR показали, что большинство осадков развиваются с квазилинейной динамикой, без резких скачков. Это говорит о стабильном (но продолжающемся) перераспределении напряжений в породах. Однако в отдельных участках (в районе старых выработок) наблюдается ускорение смещений

в период 2022–2023 гг., что может быть связано с просадкой обрушившихся камер или вторичными деформациями массива.

По данным GNSS также фиксируются устойчивые тренды, что делает возможным экстраполяцию поведения земной поверхности на последующие периоды при сохранении режима отработки.

Важно отметить, что анализ совокупных данных позволил выделить две группы осадочных процессов:

техногенные осадки – локализованы в пределах 1–2 км от шахтной инфраструктуры, характеризуются высокими скоростями (до -30 мм/год), резкими пространственными градиентами и совпадают с зонами подземной отработки;

фоновые-природные осадки – фиксируются в удаленных районах (более 3 км от шахты), имеют равномерное распределение и низкие скорости (-1...-4 мм/год), что может быть связано с природными консолидационными процессами или сезонным изменением влагосодержания.

Таким образом, спутниковые и наземные методы позволили четко разграничить области техногенного влияния и

природного оседания, что важно для планирования мер мониторинга и управления рисками.

Полученные результаты представляют интерес для: инженерных служб шахты – как основа для уточнения зон риска; экологических служб – при оценке потенциального влияния на окружающую среду; органов местного самоуправления – в части градостроительного планирования и размещения новых объектов инфраструктуры; научного сообщества – как кейс по комплексному мониторингу в условиях интенсивного недропользования.

Методика интеграции спутниковых и наземных данных может быть масштабирована на другие участки Дзезказганского рудного района и использована для создания автоматизированной ГИС-системы деформационного мониторинга.

Благодарность

Статья написана по результатам диссертационной работы автора статьи Садыкова Б.Б. на тему: «Совершенствование метода управления рисками в условиях интенсивной разработки месторождения на основе использования ГИС-технологий», г. Алматы, 2022 г.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шаовэй Ли, Вэньбинь Сюй, Чживэй Ли. Обзор алгоритмов, приложений и проблем временных рядов SBAS InSAR // Геодезия и геодинамика. 2022. Т. 13. № 2. С. 114–126 (на английском языке)
2. Применение технологии интерферометрического радиолокатора с синтезированной апертурой для оценки деформаций искусственной взлетно-посадочной полосы / Князев А.Г. [и др.] Геодезия и картография. 2025. № 12. С. 13–18 (на русском языке)
3. Филипяк К. Мониторинг оседаний горнодобывающей промышленности путем интеграции дифференциальной радиолокационной интерферометрии и методов постоянных рассеивателей // Европейский журнал дистанционного зондирования. 2021. Т. 54. С. 241–245 (на русском языке)
4. Ширшова В.Ю. Опыт мониторинга оседаний земной поверхности в урбанизированных районах методом радиолокационной спутниковой интерферометрии на примере города Санкт-Петербург // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2020. № 4. С. 399–408 (на русском языке)
5. Обнаружение проседания поверхности в районе добычи угля с помощью метода DINSAR / Шаочунь Донг [и др.] // Журнал наук о Земле. 2013. Т. 24. № 3. С. 449–456 (на русском языке)
6. Бат-Эрдэнэ Б., Энхжаргал Б., Отгонбаяр Д. Анализ временных рядов оседаний, вызванных горными работами, в засушливом регионе Монголии на основе SBAS-InSAR // Дистанционное зондирование. 2024. Т. 16. Вып. 12. С. 2166–2169 (на русском языке)
7. Садыков Б., Алтаева А., Стеллинг В. Мониторинг смещений и деформаций земной поверхности на Анненском месторождении // Комплексное использование минерального сырья. 2021. № 3 (322). С. 43–50 (на английском языке)
8. Исследование по прогнозированию проседания земель в горнодобывающих районах на основе SBAS-InSAR и сравнения нескольких моделей / Ян Ц. [и др.] // Журнал исследований в области науки и техники. 2024. № 6 (12). С. 63–71 (на русском языке)
9. Чай Х., Ху Дж., Гэн С. Метод мониторинга проседания грунта в горнодобывающих районах методом SBAS-InSAR путем объединения с данными измерений // Журнал Китайского угольного общества. 2021. № 46 (S1). С. 17–24 (на русском языке)
10. Мониторинг просадки поверхности в горнодобывающем районе SBAS-InSAR на базе Sentinel-1A / Чжоу Вэньтао [и др.] // Журнал шахт, металлов и топлива. 2021. № 69 (1). С. 5–11 (на русском языке)
11. Садыков Б.Б. Совершенствование метода управления рисками в условиях интенсивной разработки месторождений на основе использования ГИС-технологий: дисс. ... д-ра философии (Ph.D): Алматы, 2022. 128 с. (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Шаовэй Ли, Вэньбинь Сюй, Чживэй Ли. SBAS InSAR уақыттық қатар алгоритмдері, қолдану аясы және мәселелеріне шолу // Geodesy and Geodynamics. 2022. Т. 13. № 2. Б. 114–126 (ағылшын тілінде)
2. Жасанды ұшу-қону жолағының деформацияларын бағалау үшін синтезделген апертурасы бар интерферометриялық радиолокатор технологиясын қолдану / Князев А.Г. [және т. б.] // Геодезия және картография. 2025. № 12. Б. 13–18 (орыс тілінде)

3. Филипяк К. Дифференциальный радар интерферометриясы мен тұрақты шашыратқыш әдістерін біріктіру арқылы тау-кен жұмыстарының әсерінен болатын шөгуді мониторингі // *European Journal of Remote Sensing*. 2021. Т. 54. Б. 241–245 (ағылшын тілінде)
4. Ширшова В. Ю. Урбандалған аумақтарда жер бетінің шөгуді радиолокациялық спутниктік интерферометрия әдісімен мониторингтеу тәжірибесі (Санкт-Петербург қаласы мысалында) // *Жоғары оқу орындарының хабаршысы. Геодезия және аэрофототүсіріс*. 2020. № 4. Б. 399–408 (орыс тілінде)
5. Көмір өндіру аймағындағы жер бетіндегі шөгуді DInSAR әдісі арқылы анықтау / Шаочунь Донг [және т. б.] // *Journal of Earth Science*. 2013. Т. 24. № 3. Б. 449–456 (ағылшын тілінде)
6. Бат-Эрдэнэ Б., Энхжаргал Б., Отгонбаяр Д. Моңғолияның құрғақ аймағында тау-кен жұмыстарының әсерінен болатын шөгуге SBAS-InSAR негізіндегі уақыттық қатарлық талдау // *Remote Sensing*. 2024. Т. 16. № 12. Б. 2166–2169 (ағылшын тілінде)
7. Садықов Б., Алтаева А., Стеллинг В. Аннен кен орнында жер бетінің ығысулары мен деформацияларын мониторингтеу // *Минералдық шикізатты кешенді пайдалану*. 2021. № 3 (322). Б. 43–50 (ағылшын тілінде)
8. Тау-кен аймақтарындағы жер шөгуді болжау бойынша зерттеу: SBAS-InSAR және көп үлгіні салыстыру / Ян Ц. [және т. б.] // *Journal of Research in Science and Engineering*. 2024. № 6 (12). Б. 63–71 (ағылшын тілінде)
9. Чай Х., Ху Дж., Гэн С. Өлшенген деректермен біріктірілген SBAS-InSAR әдісі арқылы тау-кен аймақтарындағы жер шөгуді мониторингілеу // *Journal of China Coal Society*. 2021. № 46 (S1). Б. 17–24 (ағылшын тілінде)
10. Sentinel-1A деректеріне негізделген SBAS-InSAR әдісімен тау-кен аймағындағы жер шөгуді мониторингілеу / Чжоу Вэньтао [және т. б.] // *Journal of Mines, Metals and Fuels*. 2021. № 69 (1). Б. 5–11 (ағылшын тілінде)
11. Садықов Б.Б. ГАЗ-технологияларды пайдалану негізінде кен орындарын қарқынды игеру жағдайында тәуекелдерді басқару әдісін жетілдіру: философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация: Алматы, 2022. 128 б. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Shaowei Li, Wenbin Xu, Zhiwei Li. Review of the SBAS InSAR Time-series algorithms, applications, and challenges // *Geodesy and Geodynamics*. 2022. V. 13. Issue 2. 114–126 pp. (in English)
2. Primenenie tekhnologii interferometricheskogo radiolokatora s sintezirovannoi aperturoi dlya otsenki deformatsii iskusstvennoi vzletno-posadochnoi polosy [Application of Interferometric Synthetic Aperture Radar Technology for Assessing Deformations of an Artificial Runway], Knyazev A.G. [et al.], *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*. 2025. No. 12. 13–18 pp. (in Russian)
3. Filipiak K. Monitoring mining-induced subsidence by integrating differential radar interferometry and persistent scatterer techniques // *European journal of remote sensing*. 2021. V. 54. 241–245 pp. (in English)
4. Shirshova V.Yu. Opyt monitoringa osedanii zemnoi poverkhnosti v urbanizirovannykh raionakh metodom radiolokatsionnoi sputnikovoi interferometrii na primere goroda Sankt-Peterburg [Experience in Monitoring Land Surface Subsidence in Urbanized Areas Using Radar Satellite Interferometry: A Case Study of Saint Petersburg], *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Proceedings of Higher Educational Institutions. Geodesy and Aerial Surveying]*. 2020. No. 4. 399–408 pp. (in Russian)
5. Shaochun Dong, Hongwei Yin, Suping Yao, Fei Zhang. Detecting surface subsidence in coal mining area based on DInSAR technique / Shaochun Dong [et al.] // *Journal of Earth Science*. 2013. V. 24. No. 3. 449–456 pp. (in English)
6. Bat-Erdene B., Enkhjargal B., Otgonbayar D. Time-Series Analysis of Mining-Induced Subsidence in the Arid Region of Mongolia Based on SBAS-InSAR // *Remote Sensing*. 2024. V. 16. Issue 12. 2166–2169 pp. (in English)
7. Sadykov B., Altayeva A., Stelling W. Monitoring of displacements and deformations of the earth's surface at the Annensky field // *Integrated use of mineral raw materials*. 2021. No. 322 (3). 43–50 pp. (in English)
8. Research on Land Subsidence Prediction in Mining Areas Based on SBAS-InSAR and Multi-Model Comparison / Yang Q. [et al.] // *Journal of Research in Science and Engineering*. 2024. No. 6 (12). 63–71 pp. (in English)
9. Chai H., Hu J., Geng S. SBAS-InSAR monitoring method of ground subsidence in mining areas by fusion with measured data // *Journal of China Coal Society*. 2021. No. 46 (S1). 17–24 pp. (in English)
10. Surface subsidence monitoring in mining area of SBAS-InSAR based on Sentinel-1A / Zhou Wentao [et al.] // *Journal of Mines, Metals and Fuels*. 2021. No. 69 (1). 5–11 pp. (in English)
11. Sadykov B.B. Sovershenstvovanie metoda upravleniya riskami v usloviyakh intensivnoi razrabotki mestorozhdenii na osnove ispol'zovaniya GIS-tekhnologii: diss. ... d-ra filosofii (Ph.D) [Improvement of the Risk Management Method under Intensive Mineral Deposit Development Based on the Use of GIS Technologies: Ph.D Dissertation]. Алматы, 2022. 128 p. (in Russian)

Сведения об авторах:

Алтаева А.А., Ph.D доктор, ассоциированный профессор, ТОО «Международная образовательная корпорация» (г. Алматы, Казахстан), *a.aselya_92@mail.ru*; <https://orcid.org/0000-0002-1675-6828>

Садықов Б.Б., Ph.D доктор, ассоциированный профессор, ТОО «Leica Geosystems», (г. Алматы, Казахстан), *batyrkhan_sadykov@mail.ru*; <https://orcid.org/0000-0003-2037-247X>

Акзамбекулы А., ассоциированный профессор, ТОО «Международная образовательная корпорация» (г. Алматы, Казахстан), *a.akzambekuly@gmail.com*; <https://orcid.org/0009-0001-7172-1054>

Назыров Т.Е., магистрант кафедры «Геодезия и картография, кадастр», ТОО «Международная образовательная корпорация» (г. Алматы, Казахстан), *t.nazyrov@mok.kz*; <https://orcid.org/0009-0004-5640-6365>

Авторлар туралы мәліметтер:

Алтаева А.А., Ph.D докторы, қауымдастырылған профессор, «Халықаралық білім беру корпорациясы» ЖШС (Алматы қ., Қазақстан).

Садықов Б.Б., Ph.D докторы, қауымдастырылған профессор, «Leica Geosystems» ЖШС (Алматы қ., Қазақстан)

Акзамбекулы А., қауымдастырылған профессор, «Халықаралық білім беру корпорациясы» ЖШС (Алматы қ., Қазақстан)

Назыров Т.Е., Ph.D «Геодезия және картография, кадастр» кафедрасының магистранты, «Халықаралық білім беру корпорациясы» ЖШС (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Altaeva A.A., Ph.D doctor, associate professor, International Educational Corporation LLP (Almaty, Kazakhstan)

Sadykov B.B., Ph.D, Associate Professor, LLP «Leica Geosystems» (Almaty, Kazakhstan)

Akzambekuly A., Associate Professor, International Educational Corporation LLP (Almaty, Kazakhstan)

Nazyrov T.E., Master's Student, Department of Geodesy, Cartography, and Cadastre, International Educational Corporation LLP (Almaty, Kazakhstan)

XXXIV Международная специализированная
выставка технологий горных разработок

УГОЛЬ и МАЙНИНГ РОССИИ 2026

2-5 июня

XI Международная специализированная выставка

НЕДРА РОССИИ

XVI Международная специализированная выставка

ОХРАНА, БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА И ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

VII Специализированная выставка

ПРОМТЕХЭКСПО



МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:
Выставочный комплекс «Кузбасская ярмарка»,
ул. Автотранспортная, 51, г. Новокузнецк,
т: 8 (800) 500-40-42

ШИРЕ, ЧЕМ КУЗБАСС!
ГЛУБЖЕ, ЧЕМ УГОЛЬ!

