

Код МРНТИ 52.13.04

Ф.К. Низаметдинов¹, А.Р. Смагулов², *А.И. Султанбекова¹, А.Р. Естаева³¹НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан),²АО «Костанайские минералы» (г. Житикара, Казахстан),³НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина»

(г. Астана, Казахстан)

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ ОТКОСОВ УСТУПОВ И БОРТОВ КАРЬЕРА С ПОМОЩЬЮ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЙ

Аннотация. В статье представлен обзор и разработана методика проведения наблюдений за деформационными процессами откосов уступов и бортов карьера с использованием наземных радиолокационных систем CHCNAV PS-SAR2000 и Leica IBIS FM-14. Рассмотрены основные типы радарных систем, принципы их функционирования и особенности применения в условиях открытых горных работ. Приведены результаты мониторинга устойчивости прибортового горного массива, а также описаны этапы обработки данных радиолокационной съемки с применением программного обеспечения CHCNAV MAS. Полученные результаты используются для выявления зон потенциальной неустойчивости, трещин, разломов и ослабленных участков, уточнения геологических разрезов, определения границ между различными типами пород и фиксации скрытых геологических нарушений, оказывающих влияние на прочность и устойчивость бортов карьера.

Ключевые слова: геомеханический мониторинг, георадарная съемка, деформации борта карьера, интерферометрия, плотность сканирования, величина смещений, устойчивость, коэффициент запаса, откос карьера, скорость смещений.

Радиолокациялық өлшеу жүйелерінің көмегімен ашық кеніш кемер қиябеттері мен жағдауларының деформациялық процестерін бақылау жүргізу

Аннотация. Мақалада Жетіқара кен орнының тау-кен-геологиялық жағдайлары мен оларды игеру кезіндегі геотехникалық ерекшеліктері қарастырылған. CHCNAV PS-SAR2000 және Leica Ibis FM-14 наземдік радиолокациялық жүйелерін қолдана отырып, карьердің беткейлері мен бүйірлерінде жүретін деформациялық процестерді бақылау әдістемесі ұсынылған. Радиолокациялық жүйелердің негізгі түрлері, жұмыс істеу қағидалары және ашық тау-кен жұмыстары жағдайында қолдану ерекшеліктері сипатталған. CHCNAV MAS бағдарламалық жасақтамасы көмегімен радиолокациялық деректерді өңдеу кезеңдері келтірілген. Алынған нәтижелер ықтимал тұрақсыздық аймақтарын, жарықтар мен ақауларды, тау жыныстары массивіндегі әлсіреген учаскелерді анықтауға, егжей-тегжейлі геологиялық кесінділерді нақтылауға тұрақтылығына әсер ететін жасырын геологиялық бұзылуларды анықтауға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: геомеханикалық бақылау, радиолокациялық түсірілім, ашық кеніш жағдауының деформациясы, интерферометрия, сканерлеу тығыздығы, жылжу шамасы, тұрақтылық, қор коэффициенті, ашық кеніш қиябеті, жылжу жылдамдығы.

Observations of deformation processes of slopes, ledges and sides of the quarry using radar measurement systems

Abstract. The article presents the mining and geological conditions of the Dzhetysay deposit and their influence on the stability of quarry slopes. A methodology for monitoring deformation processes of bench and pit wall slopes using the CHCNAV PS-SAR2000 and Leica IBIS FM-14 ground-based radar systems is described. The main types of radar systems, their operating principles, and specific features of application under open-pit mining conditions are considered. The stages of processing radar survey data using the CHCNAV MAS software are outlined. The obtained results can be applied to identify zones of potential instability, cracks, fractures, and weakened areas within the rock mass, to refine detailed geological cross-sections, determine boundaries between different rock types, and detect hidden geological disturbances that may significantly affect the strength and stability of quarry walls.

Key words: geomechanical monitoring, georadar survey, deformations of the side of the quarry, interferometry, scanning density, displacement magnitude, stability, margin coefficient, slope of the quarry, displacement velocity.

Введение

Характерной чертой современного этапа развития открытой добычи полезных ископаемых является вовлечение в эксплуатацию месторождений со сложными геологическими и горнотехническими условиями разработки. Это, в первую очередь, связано с увеличением их глубины разработки и, во вторую, происходит изменение геологической ситуации, что неблагоприятно сказывается на прогнозировании состояния устойчивости откосов уступов и бортов карьера. Нарушения устойчивости откосов влекут за собой увеличение объемов вскрыши, непроизводительные расходы на дополнительную переэкскавацию, нарушают режим работы на карьере, вызывают простои и аварии горнотранспортного оборудования и приносят значительный материальный ущерб.

Разработка месторождений открытым способом всегда сопровождается комплексом инструментального маркшейдерского мониторинга состояния откосов уступов, бортов карьеров для обеспечения своевременного предупреждения развития деформаций и корректировки углов откосов в зависимости от изменяющейся горно-геологи-

ческой ситуации для обеспечения безопасности и эффективности ведения горных работ.

Широко применяются радиолокационные системы на ряде карьеров месторождений России, таких как Гайское ОАО «Гайский ГОК, Горевский ГОК, на руднике «Железный» АО «Ковдорский ГОК» в условиях Крайнего Севера, а также при разработке месторождений в США, Австралии, Индии, ЮАР, Чили и Британской Колумбии [1, 2, 3].

Методы

Деформационные процессы на карьерах являются результатом сочетания природных, инженерно-технологических и внешних факторов. Среди основных факторов, влияющих на устойчивость откосов, выделяют следующие [4, 5, 6]:

- геологические факторы, включающие слабые, трещиноватые или слоистые породы, наличие разломов и зон выветривания, а также высокую водонасыщенность массива, которые существенно снижают прочность откосов и способствуют развитию микро- и макродеформаций;

- геомеханические факторы, проявляющиеся в рекомендации чрезмерно крутых и высоких откосов уступов и деформаций нижележащих слоев;

- гидрологические факторы, включающие инфильтрацию дождевых и талых вод, а также высокий уровень подземных вод, что увеличивает гидростатическое давление в породах и снижает их сопротивление сдвигу;

- технологические факторы, связанные с проведением взрывных работ, движением тяжелой техники и резким изменением конфигурации выемки, что вызывают локальные разрушения массива, микротрещины и очаги потенциальной неустойчивости.

Основной формой проявления геомеханических процессов является формирование зон неупругих деформаций и разрушений [4, 5]. Вследствие этого преобладающим видом потери устойчивости обнажений в пределах уступов является образование отдельных вывалов, размеры которых определяются размерами структурных неоднородностей. Исследования направлены на выявление деформаций откосов на основе их автоматизированного мониторинга для прогноза устойчивого состояния приобтовых массивов карьера [7].

По результатам спектрального сейсмического профилирования была проведена интерпретация результатов и вынос на топооснову карьера вновь выявленные структурные аномалии, совмещены с имеющимися данными о геомеханическом состоянии карьерного пространства, а также создана геомеханическая модель карьера с включением в нее всех полученных разрезов и электротомографии аномальных зон.

Наблюдения за сдвижением горных пород и земной поверхности с использованием радарной интерферометрии (радиолокационный мониторинг) успешно осуществляется за рубежом с середины 1990-х годов. Существует два метода радарной интерферометрии: спутниковая и наземная. Целью мониторинга с помощью радиолокационных данных является своевременное выявление смещений и деформаций земной поверхности и сооружений на основе регулярного получения информации об исследуемом объекте дистанционными методами. В последние годы использование радарной интерферометрии становится более актуальным и эффективным.

Наземные интерферометрические радары представляют собой современные высокоточные дистанционные системы наблюдения, предназначенные для мониторинга смещений и деформаций откосов, уступов и других потенциально неустойчивых элементов бортов карьеров. Метод основан на регистрации разности фаз электромагнитных волн, отраженных от поверхности контролируемого участка в разные моменты времени, что позволяет определять величину смещения с миллиметровой точностью.

Главным преимуществом технологии является возможность непрерывного мониторинга в режиме реального времени, независимо от времени суток, освещенности и погодных условий, без необходимости установки отражателей или маркеров на контролируемой поверхности. Это обеспечивает безопасность наблюдений и возможность контроля за труднодоступными или опасными участками борта. Радар устанавливается на устойчивом основании на одном из бортов карьера и направляется на исследуемый участок противоположного борта. В процессе работы система формирует радиолокационные изображения, в кото-

рых отраженные сигналы интерферируются между последовательными измерениями. На основе фазовой разности вычисляются смещения поверхности с субмиллиметровой точностью [8, 9].

На рис. 1 представлена схема принципа работы радарной системы, основанной на измерении фазового сдвига отраженного сигнала. Передатчик (TX) излучает электромагнитную волну, которая отражается от поверхности и фиксируется приемником (RX). При первом и втором измерениях регистрируются фазы сигнала (φ_1 и φ_2).

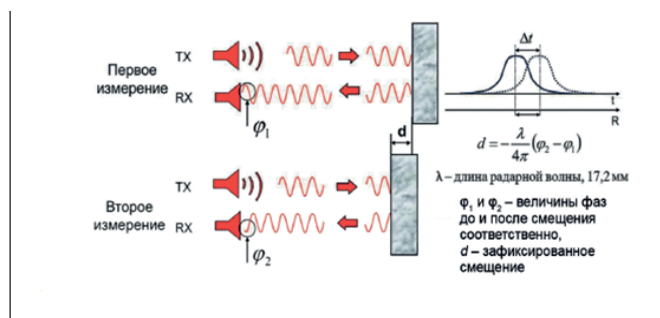


Рис. 1. Принцип работы радиолокационной системы при измерении смещений поверхности.

Сурет 1. Бетгің жылжуын өлшеу кезінде радиолокациялық жүйенің жұмыс принципі.

Figure 1. The principle of operation of the radar system when measuring surface displacements.

Разность фаз позволяет вычислить смещение поверхности d по известной длине радиоволны. Этот метод лежит в основе интерферометрического радарного мониторинга, обеспечивая высокоточное определение даже миллиметровых перемещений.

Время сканирования области зависит от ряда факторов:

- размера исследуемого участка;
- расстояния между радаром и объектом наблюдения (до 4 км);
- плотности сканирования (число точек на единицу площади);
- метеорологические условия (влажность, осадки, температура воздуха).

Полученные данные поступают в вычислительный модуль, где выполняется автоматическая обработка и визуализация. Результаты отображаются в виде тепловых карт смещений и графиков временных зависимостей, а программное обеспечение автоматически подает сигналы тревоги, если зафиксированные деформации превышают заданные пороговые значения. Для мониторинга сдвижений откосов применяются два основных типа радарных систем:

1. Радары с реальной апертурой (Real Aperture Radar, RAR). Используют направленную антенну («тарелку»), формирующую узкий луч, который сканирует поверхность в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Этот тип радаров обеспечивает высокое пространственное разрешение, но требует больше времени для полного охвата участка.

2. Радары с синтезированной апертурой (Synthetic Aperture Radar, SAR). Формируют широкий луч, охваты-

вающий весь контролируемый участок. Во время съемки антенна перемещается вдоль линейного рельса, что позволяет синтезировать виртуальную апертуру и получить изображение высокой детализации. GB-InSAR-системы этого типа являются наиболее распространенными для карьеров благодаря сочетанию высокой точности и скорости сканирования [10].

Результаты мониторинга отображаются в двух основных формах:

1. *Тепловая карта деформаций* визуализирует скорость и направление смещений в цветовой шкале: от «холодных» тонов (стабильные участки) до «теплых» (активные зоны движения);

2. *Графики временных зависимостей* показывают изменение величины и скорости смещений в конкретных точках. Пользователь может выбрать несколько ключевых участков для анализа динамики деформаций и прогнозирования развития процессов.

Современные системы GB-InSAR обладают рядом важных конструктивных преимуществ:

- *мобильность (установка на прицепе или транспортном средстве);*

- *возможность безопасного удаления оборудования во время взрывных работ;*

- *автоматическая маркишейдерская привязка;*

- *модульная архитектура, позволяющая подключать дополнительные сенсоры (метеостанции, камеры и т. д.) [11].*

Новые программные комплексы позволяют выполнять прогнозирование времени возможного обрушения, используя временные ряды скоростей смещений и математические модели ускорения деформационных процессов.

Исследование возможности интеграции автоматизированного мониторинга в режиме реального времени с применением радарной интерферометрии осуществлена на карьере Джетыгаринского месторождения для наблюдений за сдвижением горных пород.

На поверхности карьерного поля (рис. 2) установлены два типа радиолокационных систем: CHCNAV PS-SAR2000 и Leica IBIS FM-14. Ширина зоны сканирования составляла 1,5 км, что обеспечивало полное покрытие сканируемого борта.

Существующие радиолокационные системы мониторинга склонов направлены на измерение смещений поверхности. Георадары, работающие на других частотах и принципах, позволяют заглянуть внутрь массива и открывают следующие научные перспективы:

- *детальное картирование внутренней структуры и скрытых дефектов (выявление скрытых геологических нарушений; выявление пустот внутри массива; мониторинг водонасыщенности;*

- *развитие методов обработки и интерпретации данных: исследования направлены на совершенствование программного обеспечения для анализа сложных георадарных данных, в частности на применение искусственного интеллекта и машинного обучения;*

- *интеграция с другими технологиями (возможность использования комплексного подхода);*

- *совершенствование геомеханического моделирования.*



Рис. 2. Радиолокационные системы CHCNAV PS-SAR2000 и Leica IBIS FM-14, установленные на борту карьера.

Сурет 2. Ашық кеніш жағдауында орнатылған CHCNAV PS-SAR2000 және Leica IBIS FM-14 радиолокациялық жүйелері.

Figure 2. CHCNAV PS-SAR2000 and Leica IBIS FM-14 radar systems installed on board the quarry.

Результаты

Задачи исследований включали определение параметров работы оборудования в горнотехнических условиях, сопоставление результатов с данными традиционного мониторинга, формирование методических рекомендаций по внедрению систем, оборудования и методики [11]. Для сравнения технических характеристик применяемых радарных систем были проанализированы два наиболее распространенных типа оборудования: интерферометрический радар IBIS FM-14 и радар CHCNAV PS-SAR2000 (таблица 1). В таблице представлены ключевые параметры, определяющие их функциональные возможности в условиях горнотехнического мониторинга.

Сравнение показало, что каждая из систем обладает собственными преимуществами: LEICA IBIS FM-14 – высокая чувствительность и развитая аналитика, CHCNAV PS-SAR2000 – большая скорость обновления данных и панорамный обзор. Выбор оборудования определяется конкретными задачами мониторинга и условиями работы на объекте.

Цветовая шкала показывает распределение высот, а маркер указывает положение и ориентацию радарной станции. Данный рисунок используется для визуализации рельефа и результатов радарного мониторинга устойчивости бортов карьера (рис. 3). Он позволяет оценить пространственное распределение высот, определить потенциально неустойчивые участки и проанализировать максимальные величины смещений поверхности.

На рис. 4 представлена карта смещений поверхности борта карьера, полученная методом радарного мониторинга. Это визуализация деформационной активности откосов с использованием цветовой шкалы, где каждый цвет соответствует определенной величине смещения. Цветовая шкала справа показывает величину смещений в миллиметрах.

Красные зоны – области наибольших смещений и потенциальной нестабильности. Желтые и зеленые – умеренные смещения. Голубые и синие – минимальные или

Таблица 1

Основные характеристики радиолокационных систем

Кесте 1

Радиолокациялық жүйелердің негізгі сипаттамалары

Table 1

Main characteristics of radar systems

Параметр	IBIS FM-14	CHCNAV PS-SAR2000
Тип радара	Интерферометрический, Ku-диапазон (~17.2 ГГц)	SAR X-диапазон (~10 ГГц)
Дальность действия	До 5 км	До 5 км
Минимальное смещение	< 0.1 мм	≈ 0.1 мм
Частота съемки	1 снимок / 30 сек	1 снимок / 10–15 сек
Пространственное разрешение	до 0.5–1 м	до 0.7–1 м
Угол обзора	80 x 60	360 x 60
ПО	Guardian (аналитика, тревоги, 3D)	MAS (просто и понятно), тревоги
Фильтрация и сглаживание	Гибкая настройка	Порог фильтра (например, 50)
Интерфейс	Сложнее	Простой, интуитивный

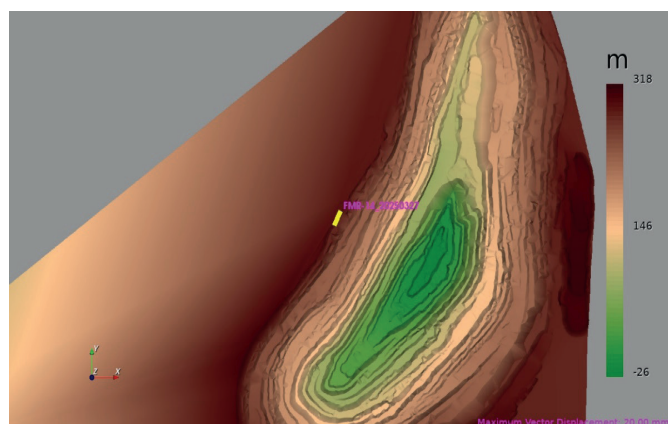


Рис. 3. Схема расположения радарных установок на борту Жетыгаринского карьера.

Сурет 3. Жетіқара ашық кенішінің жағдайында радиолокациялық қондырғылардың орналасу схемасы.

Figure 3. The layout of radar installations on board the Jetygara quarry.

отсутствующие смещения (стабильные участки). По геометрии уступов на фоне хорошо заметны контуры отдельных уступов и берм, которые окрашены согласно их подвижности. Красные полосы вдоль откосов свидетельствуют о зонах, где наблюдается повышенная деформационная активность.

На рис. 5 приведена динамика скорости смещений в течение периода с конца марта по июль 2025 года. На изображении видны отдельные маркеры/точки (черные точки) – это элементы сетки данных или контрольные точки анализа. Текстовые данные внизу. Указаны параметры съемки: расстояние до радара, высота установки, координаты, угол обзора и др. Эти данные нужны для интерпретации и привязки измерений к местности.

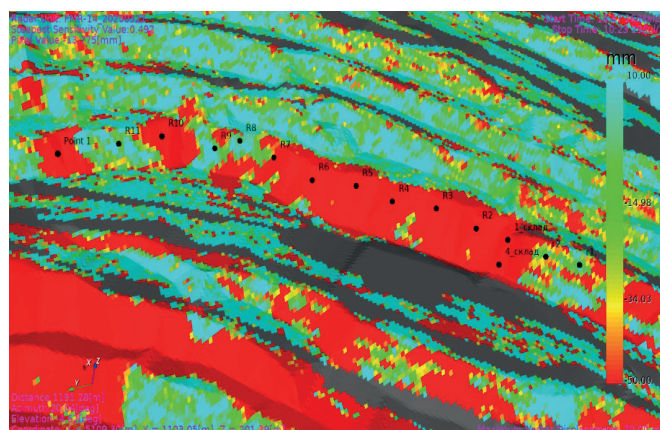


Рис. 4. Вид откоса карьера, зафиксированный радиолокационной системой.

Сурет 4. Радиолокациялық жүйемен бекітілген ашық кеніш қиябетінің түрі.

Figure 4. View of the quarry slope recorded by the radar system.

Синяя линия отражает изменения скорости деформаций во времени, оставаясь в пределах близких к нулю значений, что указывает на стабильное состояние наблюдаемого участка. Вертикальные цветные линии обозначают зафиксированные события или предупреждения системы мониторинга, связанные с изменениями параметров измерений или условиями работы оборудования.

На рис. 6 представлен интерфейс программного обеспечения CHCNAV MAS, визуализирующий результаты радарного мониторинга устойчивости откосов карьера. CHCNAV MAS – программное обеспечение для автоматизированных платформ, предназначенное для мониторинга в реальном времени, визуализации данных и управления оповещениями. CHCNAV MAS объединяет технологии

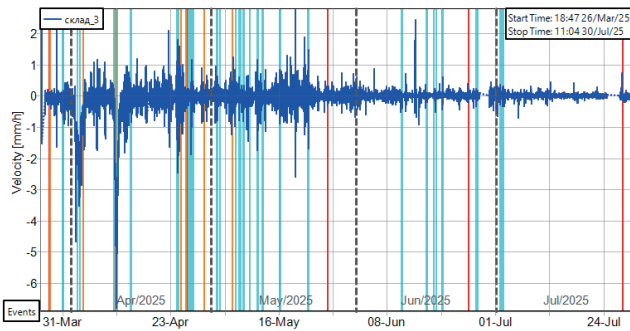


Рис. 5. Динамика скорости смещений (Velocity, мм/ч) LEICA IBIS FM-14 в течение периода с конца марта по июль 2025 года.

Сурет 5. Жылжуларды жылдамдық динамикасы (Velocity, мм/сағ) LEICA IBIS FM-14 2025 жылдың наурыз айының соңынан бастап шілде айының кезеңінде.

Figure 5. Dynamics of displacement velocity (mm/h) LEICA IBIS FM-14 during the period from the end of March to July 2025.

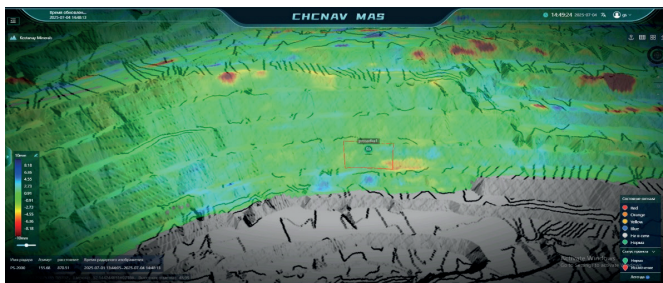


Рис. 6. Интерфейс программного обеспечения CHCNAV MAS.

Сурет 6. CHCNAV MAS бағдарламалық интерфейсі. Figure 6. CHCNAV MAS Software Interface.

Интернета вещей (IoT), больших данных и 3D визуализации для управления и анализа данных с устройств удаленного мониторинга и позволяет в режиме реального времени отслеживать, визуализировать данные и управлять оповещениями [9, 10, 11].

Цветовая карта отображает величины смещений поверхности: зеленые области указывают на стабильное состояние, тогда как желтые, красные и фиолетовые зоны отражают повышенную деформационную активность. На карте отмечены контрольные точки и события системы. В нижней части представлена временная диаграмма изменения скорости смещений, позволяющая

анализировать динамику деформаций в режиме реального времени.

В ходе тестирования выделены несколько зон для мониторинга, что позволило провести детальный анализ данных и оценить состояние каждого участка. Графики деформации и скорости, полученные в ходе тестирования, демонстрируют четкую корреляцию и высокую детализацию данных, что является ключевым показателем эффективности георадаров в условиях мониторинга геотехнических параметров бортов карьера.

Заключение

Использование радиолокационных систем для проведения наблюдений за деформационными процессами уступов и бортов карьера позволяет получить результаты, направленные, в первую очередь, на обеспечение безопасности ведения горных работ.

Основные итоги применения радиолокационных систем позволяют:

- выявлять зоны потенциальной неустойчивости, такие как трещины, разломы, ослабленные участки и полости в массиве горных пород;
- получить детальные геологические разрезы, определить границы между различными типами пород и выявить скрытые геологические нарушения, которые могут влиять на устойчивость борта;
- отслеживать динамику развития деформаций бортов карьера на ранних стадиях.

Выводы

1. Получены данные о локальных деформациях с амплитудой до 3–5 мм в сутки и установлены зоны повышенной активности деформаций. Обе системы показали высокую корреляцию (> 95%) между собой и с традиционными методами мониторинга.
2. Установлены диапазоны эффективности работы CHCNAV PS-SAR2000 для мониторинга широких зон и Leica IBIS FM-14 для детального наблюдения локальных участков.
3. Выявлено, что при сопоставлении данных наблюдений, полученных с двух георадарных установок, зафиксированы идентичные результаты по накоплению смещений и свидетельствует о высокой достоверности и точности георадара PSSAR-2000, что в свою очередь подтверждает соответствие данной установки современным мировым аналогам.
4. Подтверждена высокая эффективность радарных систем CHCNAV PS-SAR2000 и Leica IBIS FM-14 для управления состоянием массива при открытой разработке, что повышает безопасность и эффективность ведения горных работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Hutchinson J., Bonneau D., DiFrancesco P.M., Farmakis I., Graham A., Burns R. Наблюдение и оценка инженерно-геологических средств контроля и механизмов разрушения склонов горных пород с использованием данных дистанционного зондирования // Американский геофизический союз, осеннее заседание 2020 г., тезисы № NH034-01 (на английском языке)
2. Koufopoulou A., Diamanti N., Vargemetsis G., Tsourlos P. Применение георадара для оценки качества мрамора в карьере // 29-я Европейская конференция по экологической и инженерной геофизике, 2023. С. 1–5 (на английском языке)

3. Реализация стратегии моделирования трещиноватости на основе георадарной съемки на большой площади уступа известнякового карьера / Mohamed Elkarmoty [и др.] // Геонауки. 2024. С. 1–15 (на английском языке)
4. Мониторинг устойчивости бортов карьеров Казахстана / Низаметдинов Ф.К. [и др.] // Маркшейдерский вестник. 2013. № 3. С. 19–24 (на русском языке)
5. Ожигина С.Б. Устойчивость карьерных откосов на сложноструктурных месторождениях. Совершенствование способа расчета устойчивости карьерных откосов для сложноструктурных месторождений: монография. 2013. 148 с. (на русском языке)
6. Исследование геомеханических условий Джетыгаринского месторождения хризотил-асбеста, обоснование оптимальных технологических параметров бортов карьера и разработка системы мониторинга деформационных процессов в контурах 1-й очереди отработки карьера: отчет научно-технический (промежуточный, 2 этап). Науч. рук. Сашурин А. Д. ИГД УрО РАН, Екатеринбург, 2015, 125 с. (на русском языке)
7. Определение устойчивых углов откосов уступов и бортов Джетыгаринского карьера: отчет по НИР/Магнитогорский горно-металлургический институт, Магнитогорск, 1967, 241 с. (на русском языке)
8. Исследование гидрогеологического строения Джетыгаринского месторождения хризотил-асбеста и разработка проекта осушения карьера в предельном контуре: отчет научно-технический (заключительный). Науч. рук. Сашурин А.Д. ИГД УрО РАН, Екатеринбург, 2017, 211 с. (на русском языке)
9. Геомеханический мониторинг – оценка геомеханического состояния и устойчивости горного массива Джетыгаринского карьера, разработка рекомендаций по безопасному производству горных работ: отчет научно-технический (заключительный). Науч. рук. Мельник В.В. ТОО «ИГД Казахстан», Нур-Султан, 2021, 280 с. (на русском языке)
10. Использование (опыт тестирования) георадара на участке строительства крутонаклонного конвейерного комплекса на южном карьере Михайловского ГОКа им. А.В. Варичева / Исмагилов Р.И. [и др.] // Горная промышленность. 2020. № 3. С. 84–90 (на русском языке)
11. Макеев М.А. Инновации на службе промышленной безопасности: опыт использования передовых радарных систем контроля устойчивости бортов карьеров – Reutech на предприятиях РФ // Горная промышленность. 2017. № 2 (132). С. 48–49 (на русском языке)

ПАЙДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Hutchinson J., Vonpeau D., DiFrancesco P.M., Farmakis I., Graham A., Burns R. Қашықтықтан зондталатын деректерді пайдалана отырып, тау жыныстарының беткейлеріндегі мінез-құлықтың инженерлік геологиялық бақылаулары мен бұзылу механизмдерін бақылау және бағалау // Американдық геофизикалық одақ, күзгі отырыс 2020, тезис № NH034-01 (ағылшын тілінде)
2. Koufopoulou A., Diamanti N., Vargemesis G., Tsourlos P. Ашық кеніштегі мәрмәр сапасын бағалау үшін жерге нетін радарды (GPR) қолдану // Экологиялық және инженерлік геофизиканың 29-шы Еуропалық кездесуі, 2023. Б. 1–5 (ағылшын тілінде)
3. Әктас ашық кенішінің үлкен кемер алаңында радиолокациялық түсірілімге негізделген жарықшақты модельдеу стратегиясын жүзеге асыру / Mohamed Elkarmoty [және т. б.] // Геология ғылымдары. 2024. Б. 1–15 (ағылшын тілінде)
4. Қазақстан ашық кеніштер жағдаулар тұрақтылығының мониторингі / Низаметдинов Ф.К. [және т. б.] // Маркшейдерлік хабаршы. 2013. № 3. Б. 19–24 (орыс тілінде)
5. Ожигина С.Б. Күрделі құрылымдық кен орындарындағы ашық кеніш қиябеттер тұрақтылығы. Күрделі құрылымдық кен орындары үшін ашық кеніш қиябеттерінің тұрақтылығын есептеу тәсілін жетілдіру: монография. 2013. 148 с. (орыс тілінде)
6. Жетіқара хризотил-асбест кен орнының геомеханикалық жағдайларын зерттеу, ашық кеніш жағдауларының оңтайлы технологиялық параметрлерін негіздеу және ашық кенішті игеру 1-ші кезегінің контурында деформациялық процестердің мониторингі жүйесін әзірлеу: ғылыми-техникалық есеп (аралық, 2-кезең). Ғылыми жет. Сашурин А.Д. ТКИ РҒА Орал бөлімі, Екатеринбург, 2015, 125 б. (орыс тілінде)
7. Жетіқара ашық кеніш кемер қиябеттері мен жағдауларының тұрақты бұрыштарын анықтау: ҒЗЖ/Магнитогорск тау-кен металлургия институты бойынша есеп, Магнитогорск, 1967, 241 б. (орыс тілінде)
8. Жетіқара хризотил-асбест кен орнының гидрогеологиялық құрылымын зерттеу және шекті контурдағы ашық кенішті құрғату жобасын әзірлеу: ғылыми-техникалық есеп (қорытынды). Ғылыми жет. Сашурин А.Д. ТКИ РҒА Орал бөлімі, Екатеринбург, 2017, 211 б. (орыс тілінде)
9. Геомеханикалық мониторинг Жетіқара ашық кенішінің тау алабының геомеханикалық жай-күйі мен орнықтылығын бағалау, тау-кен жұмыстарын қауіпсіз өндіру бойынша ұсынымдар әзірлеу:

ғылыми-техникалық есеп (қорытынды). Ғылыми жет. Мельник В.В. «Қазақстан ТКИ» ЖШС, Нұр-Сұлтан, 2021, 280 б. (орыс тілінде)

10. А.В. Варичев атындағы Михайловка КБК оңтүстік ашық кенішінде тік бұрышты конвейерлік кешеннің құрылыс учаскесінде георадарды пайдалану (тестілеу тәжірибесі) / Исмагилов Р.И. [және т. б.] // Тау-кен өнеркәсібі. 2020. № 3. Б. 84–90 (орыс тілінде)
11. Makeev M.A. Өнеркәсіптік қауіпсіздік қызметіндегі инновациялар: Ашық кеніш жағдайының тұрақтылығын бақылаудың озық радиолокациялық жүйелерін пайдалану тәжірибесі РФ кәсіпорындарында Reutech // Тау-кен өнеркәсібі. 2017. № 2 (132). Б. 48–49 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Hutchinson J., Bonneau D., DiFrancesco P.M., Farmakis I., Graham A., Burns R. Observation and assessment of engineering geology controls and failure mechanisms on rock slope behaviour utilizing remotely sensed data // American Geophysical Union, Fall Meeting 2020, Abstracts No. NH034-01 (in English)
2. Koufopoulou A., Diamanti N., Vargemezis G., Tsourlos P. Application of Ground Penetrating Radar (GPR) for Marble Quality Assessment in a Quarry // 29th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. 2023. 1–5 pp. (in English)
3. Implementation of a Fracture Modeling Strategy Based on Georadar Survey in a Large Area of Limestone Quarry Bench / Mohamed Elkarmoty [et al.] // Geosciences. 2024. 1–15 pp. (in English)
4. Monitoring ustoichivosti bortov kar'eroev Kazakhstana [Monitoring the stability of the sides of quarries in Kazakhstan], Nizametdinov F.K. [et al.], Marksheiderskii vestnik [Surveying Bulletin]. 2013. No. 3. 19–24 pp. (in Russian)
5. Ozhigina S.B. Ustoichivost' kar'ernykh otkosov na slozhnostrukturnykh mestorozhdeniyakh. Sovershenstvovanie sposoba rascheta ustoichivosti kar'ernykh otkosov dlya slozhnostrukturnykh mestorozhdenii: monografiya [Stability of quarry slopes in complex-structured deposits. Improving the method of calculating the stability of quarry slopes for complex-structured deposits: Monograph]. 2013. 148 p. (in Russian)
6. Issledovanie geomekhanicheskikh uslovii Dzhetygarinskogo mestorozhdeniya khризотил-асбеста, obosnovanie optimal'nykh tekhnologicheskikh parametrov bortov kar'era i razrabotka sistemy monitoringa deformatsionnykh protsessov v konturakh 1-i ocheredi otrabotki kar'era: otchet nauchno-tekhnicheskii (promezhutochnyi, 2 etap) [Investigation of the geomechanical conditions of the Dzhetygarinsky chrysotile-asbestos deposit, substantiation of optimal technological parameters of the sides of the quarry and development of a system for monitoring deformation processes in the contours of the 1st stage of quarry mining: scientific and technical report (intermediate, 2nd stage)]. Scientific hand. Sashurin A.D. IGD UrO RAN [Institute of Mining Ural Branch of the Russian Academy of Sciences], Ekaterinburg, 2015, 125 p. (in Russian)
7. Opredelenie ustoichivyykh uglov otkosov ustupov i bortov Dzhetygarinskogo kar'era: otchet po NIR/ Magnitogorskii gorno-metallurgicheskii institut [Determination of stable angles of slopes of ledges and sides of the Dzhetygarinsky quarry: a research report/Magnitogorsk Mining and Metallurgical Institute], Magnitogorsk, 1967, 241 p. (in Russian)
8. Issledovanie gidrogeologicheskogo stroeniya Dzhetygarinskogo mestorozhdeniya khризотил-асбеста i razrabotka proekta osusheniya kar'era v predel'nom konture: otchet nauchno-tekhnicheskii (zaklyuchitel'nyi) [Investigation of the hydrogeological structure of the Dzhetygarinsky chrysotile-asbestos deposit and development of a quarry drainage project in the limiting contour: scientific and technical report (final)]. Scientific hands. Sashurin A.D. IGD UrO RAN [Institute of Mining Ural Branch of the Russian Academy of Sciences], Yekaterinburg, 2017. 211 p. (in Russian)
9. Geomekhanicheskii monitoring – otsenka geomekhanicheskogo sostoyaniya i ustoichivosti gornogo massiva Dzhetygarinskogo kar'era, razrabotka rekomendatsii po bezopasnomu proizvodstvu gornyykh rabot: otchet nauchno-tekhnicheskii (zaklyuchitel'nyi) [Geomechanical monitoring – assessment of the geomechanical condition and stability of the Dzhetygara quarry mountain range, development of recommendations for safe mining operations: scientific and technical report (final)]. Scientific hands. Melnik V.V. TOO «IGD Kazakhstan» [Institute of Mining Kazakhstan LLP], Nur-Sultan, 2021, 280 p. (in Russian)
10. Ispol'zovanie (opyt testirovaniya) georadara na uchastke stroitel'stva krutonaklonnogo konveiernogo kompleksa na yuzhnom kar'ere Mikhailovskogo GOKa im. A.V. Varicheva [The use (testing experience) of GPR at the construction site of the steep-slope conveyor complex at the southern quarry of the Mikhailovsky GOK named after A.V. Varichev], Ismagilov R.I. [et al.], Gornaya promyshlennost' [Mining Industry]. 2020. No. 3. 84–90 pp. (in Russian)
11. Makeev M.A. Innovatsii na sluzhbe promyshlennoi bezopasnosti: opyt ispol'zovaniya peredovykh radarnyykh sistem kontrolya ustoichivosti bortov kar'eroev – Reutech na predpriyatiyakh RF [Innovations in

the industrial safety service: the experience of using advanced radar systems for monitoring the stability of quarry sides – Reutech at enterprises of the Russian Federation], Gornaya promyshlennost' [Mining Industry]. 2017. No. 2 (132). 48–49 pp. (in Russian)

Сведения об авторах:

Низаметдинов Ф.К., д.т.н., профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), niz36@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1933-6351>

Смагулов А.Р., директор АО «Костанайские минералы» (г. Житикара, Казахстан), smagulov_ar@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-6997-5679>

Султанбекова А.И., магистрант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), Sultanbekova@inbox.ru; <https://orcid.org/0009-0006-8489-0021>

Естаева А.Р., м.т.н., ст. преподаватель кафедры «Геодезия и картография» НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина» (г. Астана, Казахстан), estaeva_a@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7242-0931>

Авторлар туралы мәліметтер:

Низаметдинов Ф.К., т.ғ.д., «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан)

Смагулов А.Р., «Костанайские минералы» АҚ директоры (Жітіқара қ., Қазақстан)

Султанбекова А.И., «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының магистранты (Қарағанды қ., Қазақстан)

Естаева А.Р., т.ғ.м., С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, «Геодезия және картография» кафедрасының аға оқытушысы (Астана қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Nizametdinov F.K., Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Smagulov A.R., Director of «Kostanay Minerals» JSC (Gitikara, Kazakhstan)

Sultanbekova A.I., Master's student of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Yestayeva A.R., Master of Technical Sciences, senior lecturer at the Department of Geodesy and Cartography, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin (Astana, Kazakhstan)



Machine Building and Metal Working

XVII

**МЕЖДУНАРОДНАЯ
ПРОМЫШЛЕННАЯ
ВЫСТАВКА**

2026

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МЕТАЛЛООБРАБОТКА

Организатор:



МВК «Атакент-Экспо»
Республика Казахстан, 050057, г. Алматы,
ул. Тимирязева, 42
Тел.: +7 (727) 275 09 11, Моб.: +7 701 477 84 18
E-mail: venera@atakentexpo.kz
www.machinery-expo.kz

Официальная поддержка:



Министерство индустрии и
инфраструктурного
развития Республики Казахстан

machinery-expo.kz



Казахстан, Алматы
ВЦ «Атакент»

12 - 14 МАЯ