Статья поступила в редакцию: 25.09.2026
Статья принята к публикации: 13.10.2026
Статья опубликована: 28.10.2026

УДК 622.271.326

DOI: 10.32743/UniTech.2026.151.10.23550

Условия и особенности проявления горного давления на руднике «Зармитан»

Буриев Шукурулла Убайдуллаевич
ст. преп. кафедра разработки и переработки руд редких и радиоактивных металлов
Навоийский государственный горно-технологический университет
Республика Узбекистан, г. Навои
E-mail: buriyevshukurullo19880312@mail.ru

Жиянов Абдунор Бобокулович
PhD, доц.
кафедра разработки и переработки руд редких и радиоактивных металлов, Навоийский государственный горно-технологический университет
Республика Узбекистан, г. Навои
E-mail: abdunor_jiyanov@mail.ru

Авазов Адхамбек Нуриллаевич
ассистент кафедра разработки и переработки руд редких и радиоактивных металлов
Навоийский государственный горно-технологический университет
Республика Узбекистан, г. Навои
E-mail: adxambekavazov@gmail.com

Conditions and characteristics of rock-pressure manifestations at the Zarmitan mine

Buriyev Shukurulla Ubaydullayevich
senior Lecturer
Department of Mining and Processing of Rare and Radioactive Metal Ores, Navoi State University of Mining and Technologies
Uzbekistan, Navoi

Jiyanov Abdunor Bobokulovich
PhD, Associate Professor
Department of Mining and Processing of Rare and Radioactive Metal Ores, Navoi State University of Mining and Technologies
Uzbekistan, Navoi

Библиографическое описание: Буриев Ш.У., Жиянов А.Б., Авазов А.Н. Условия и особенности проявления горного давления на руднике «Зармитан» // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2026. 10(151). URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23550

Avazov Adkhambek Nurillaevich
Assistant
Department of Mining and Processing of Rare and Radioactive Metal Ores, Navoi State University of Mining and Technologies
Uzbekistan, Navoi

Аннотация

В статье рассмотрены условия проявления горного давления при подземной разработке Зармитанского месторождения. Цель исследования — сопоставить активность акустической эмиссии (АЭ), показатель амплитудного распределения и зарегистрированные звуковые явления для оценки возможностей оперативного наблюдения за деформированием массива. Использованы результаты семи тестовых измерений прибором СБ-32М (САПФИР) в очистных и полевых выработках, а также сведения о геологических и горнотехнических условиях. Датчик устанавливался в шпур диаметром 40–46 мм на глубину до 1,5 м; продолжительность измерения, указанная в исходной методике, составляла 20 минут. Активность приведена к 15-секундному интервалу, для графиков использован минутный счет импульсов. По исходной таблице два подробно рассмотренных измерения относятся к блоку 70120а–70121а: на первом подэтаже получены значения N_{15} сек = 11,1 и b′ = 3,3, на втором — N_{15} сек = 3,8 и b′ = 2,4. Во втором измерении отмечен щелчок. Сопоставление показывает, что средняя активность не описывает всех особенностей зарегистрированного акустического процесса. Наблюдения обосновывают дальнейшее совместное изучение активности, амплитудного состава и состояния выработок. Вместе с тем отсутствие первичных каналовых записей, оценки погрешностей и независимой проверки не позволяет подтвердить достижение предельного состояния либо прогнозирование горного удара. Рассматриваемые пороги являются предварительными; для их проверки необходимы повторные наблюдения, включая участки без динамических проявлений.

Abstract

The paper examines rock-pressure manifestations during underground mining at the Zarmitan deposit. The objective is to compare acoustic-emission (AE) activity, the amplitude-distribution parameter, and recorded audible events to assess the potential of operational observation of rock-mass deformation. The study uses seven test measurements obtained with the SB-32M (SAPFIR) instrument in stoping and field workings, together with geological and mining information. The sensor was installed in a 40–46 mm borehole at a depth of up to 1.5 m; the original methodology specifies a measurement duration of 20 minutes. Activity is expressed as the mean count per 15 seconds, whereas the plots show counts per minute. According to the original table, the two measurements discussed in detail belong to block 70120a–70121a. Their reported values are N_{15} sec = 11.1 and b′ = 3.3 at sublevel 1, and N_{15} sec = 3.8 and b′ = 2.4 at sublevel 2, where a click was recorded. The comparison indicates that mean activity alone does not describe all features of the recorded acoustic process. However, missing primary channel records, uncertainty estimates, and independent validation prevent confirmation of a limiting state or demonstrated rockburst prediction. The thresholds remain preliminary and require repeated observations, including locations without dynamic manifestations.

Ключевые слова: Зармитанское месторождение, горное давление, тектонические нарушения, акустическая эмиссия, устойчивость массива, показатель b′, удароопасность.

Keywords: Zarmitan deposit, rock pressure, tectonic disturbances, acoustic emission, rock-mass stability, amplitude-distribution parameter b′, rockburst hazard.

Финансирование: Авторы выражают искреннюю благодарность администрации Зармитанского рудника Южного рудоуправления “Навоийского горно-металлургического комбината” за содействие в проведении исследований, предоставление необходимой производственной и геологической информации, а также за оказанную организационную поддержку. Исследование выполнено без привлечения специального внешнего финансирования.

Funding: The authors express their sincere gratitude to the Administration of the Zarmitan Mine of the Southern Ore Administration of “Navoi Mining and Metallurgical Company” for their assistance in conducting the research, providing the necessary operational and geological information, and offering organizational support. This research was conducted without any specific external funding.

Введение

Увеличение глубины разработки золоторудных месторождений сопровождается усложнением геомеханических условий ведения горных работ. Для Зармитанского месторождения характерны тектоническая нарушенность и трещиноватость вмещающего массива. Деформационно-прочностные характеристики отдельных участков зависят от литологического состава, состояния разрывных нарушений и ориентировки систем трещин относительно обнажений. Количественная зависимость нарушенности от глубины в настоящей выборке не исследовалась. [5,6]

На руднике «Зармитан» применяются системы разработки с оставлением открытого выработанного пространства и охранных целиков. С увеличением глубины разработки и пролета выработанного пространства происходит увеличение напряжений в передовой по падению части массива, а наличие отставания и опережения отдельных очистных блоков способствует дополнительной концентрации и неравномерности напряжений. В результате наблюдаются как статические, так и динамические формы проявления горного давления, включая разрушение межблоковых и межэтажных целиков, вывалы вмещающих пород, заколообразование, деформацию стенок шпуров и скважин, стреляния и звуковые явления при проведении горных выработок.

В связи с этим особое значение приобретает своевременная оценка напряженного состояния массива и выявление участков, склонных к динамическим проявлениям горного давления. Одним из исследуемых в условиях Зармитанского месторождения методов является метод акустической эмиссии (АЭ), позволяющий регистрировать импульсы, возникающие в процессе деформирования и микроразрушения горных пород.

Цель исследования — сопоставить среднюю активность акустической эмиссии, показатель амплитудного распределения и зарегистрированные звуковые проявления на исследованных участках рудника «Зармитан», оценить возможности их совместного использования для оперативного наблюдения за деформированием массива и определить ограничения предварительных диагностических критериев.

Материалы и методы

Материал исследования включает семь тестовых измерений акустической эмиссии, выполненных 28–29 сентября 2025 г. прибором СБ-32М (САПФИР) в очистных и полевых выработках рудника «Зармитан» (табл. 1). В исходной статье представлены сводные показатели и два растровых графика; первичные журналы, каналовые счетчики и полные временные ряды к ней не приложены. Поэтому ниже разграничены наблюдаемые результаты, пересчет единиц и ограничения их интерпретации.

Для описания активности используется единое обозначение N_{15} сек — среднее число зарегистрированных импульсов за 15 с. N_1 мин,j обозначает число импульсов в j-м минутном интервале, а среднее за весь период значение обозначено как $\langle N_1$ мин$\rangle$. При T минутах эффективной регистрации и суммарном счете a_1 выполняются соотношения: N_{15} сек = $a_1/(4T)$; $\langle N_1$ мин$\rangle = a_1/T = 4N_{15}$ сек. Для m полных минут: N_{15} сек = $(\Sigma_j N_1$ мин,j$)/(4m)$. Это пересчет средней активности; отдельные 15-секундные отсчеты внутри минуты не обязаны равняться четверти минутного счета. [1]

Показатель амплитудного распределения во всех разделах обозначен b′. В опубликованной двухпороговой методике для СБ-32М он записан как $b = a_1/a_2$, где a_1 и a_2 — числа импульсов, превышающих соответственно нижний и верхний амплитудные пороги за один период регистрации. Для этой схемы здесь используется запись $b' = a_1/a_2$, а на графиках — $1/b' = a_2/a_1$. Она характеризует долю импульсов выше второго порога среди импульсов выше первого. Амплитуда относится к зарегистрированному сигналу датчика; без калибровки ее нельзя отождествлять с энергией источника. Обозначение b′ не означает наклон регрессии амплитудного распределения. Применимость двухпороговой схемы к исходным записям требует подтверждения по журналам. [1]

Воспроизводимость регистрации и ограничения

В опубликованном описании СБ-32М приведена полоса регистрации 10–40 кГц [1]. Это характеристика литературной методики; фактическая полоса примененного прибора в журнале исследования не документирована. Не приведены численные амплитудные пороги, единицы их задания, усиление, фильтры, правила выделения импульса, подавление помех и сведения о калибровке. Подменять эти данные типовыми настройками нельзя.

Объем суммарной выборки импульсов определяется счетом a_1, а выборки второго канала — a_2. Эти счета для семи замеров отсутствуют, поэтому показатели b′ сохранены как исходные сводные значения без независимого пересчета. Размеры выборок, доверительные интервалы и приборная погрешность численно не устанавливаются. Непосредственных записей амплитуд и энергий отдельных импульсов в представленных материалах нет.

По исходному описанию датчик устанавливался в шпур диаметром 40–46 мм на глубину до 1,5 м с целью обеспечить контакт с породой вне нарушенной приконтурной области. Контакт проверялся ударным возбуждением акустических импульсов на стенке выработки. Сам по себе такой тест не является метрологической калибровкой и не подтверждает, что датчик во всех точках находился за пределами зоны трещиноватости.

В исходной методике указан ориентировочный интервал наблюдений 1–5 ч после шпуровой отбойки и длительность одного измерения 20 мин. Однако в таблице 1 имеются замеры через 9 ч 20 мин и более 24 ч после взрыва; их нельзя считать выполненными в одинаковых поствзрывных условиях. Рисунки 1 и 2 показывают только десять минутных отсчетов каждого измерения. Длительность и эффективное время регистрации каждого полного замера требуют проверки по журналам; квазистационарность процесса по одному времени после взрыва не устанавливается.

Согласно исходной таблице, измерения с N_{15} сек = 11,1; $b' = 3,3$ и N_{15} сек = 3,8; $b' = 2,4$ относятся к блоку 70120а–70121а. Первое выполнено на подэтаже 1, левом фланге, через 3 ч 20 мин после взрыва, второе — на подэтаже 2, правом фланге, через 3 ч 32 мин. Предварительные ориентиры из исходной статьи сохранены для исследовательского сопоставления: N_{15} сек ≥ 3 соответствует средней минутной активности $\langle N_1$ мин$\rangle \geq 12$; при $b' > 0$ условие $b' \leq 4$ равносильно $1/b' \geq 0,25$. Для двухпороговой схемы отношение определено при $a_2 > 0$; при отсутствии импульсов второго канала конечное значение b' не рассчитывается. Превышение одной пороговой линии на графике не является самостоятельным доказательством категории «опасно». Пороговые значения для Зармитана независимо не проверены и не используются здесь для эксплуатационного районирования.

Таблица 1. Сводные параметры акустической эмиссии по тестовым измерениям на руднике «Зармитан»

Дата замера	Место замера		N_{15} сек[1] имп./15 с	b'[2]	Время после ВР	Комментарии
28.09.2025	Блок 70120а 70121а	Подэтаж 1 гор. 480 м	129,7	1,8	2:00	Не указан
		Подэтаж 2 гор.495 м	2,5	5,6	9:20	Не указан
29.09.2025	Блок 70120а 70121а	Подэтаж 2 левый фланг	3,2	2,7	3:22	жила посреди забоя
		Подэтаж 2 правый фланг	3,8	2,4	3:32	щелчок во время замера
		Подэтаж 1, левый фланг	11,1	3,3	3:20	звук в породе
	Гор. 480 м, полевой штрек		101,6	37,0	3:45	После взрыва в забое отмечены щелчки и стреляние. По исходному комментарию преобладали импульсы небольшой амплитуды; каналовые записи отсутствуют.
	НТС, забой, гор. 470 м, шпур 1		68	19,2	>24 часов	Шпур пробурен перед замером; отмечены треск в массиве и смещение околошпуровой области к обнажению.

Примечания. ¹ Временная единица N в исходной таблице не указана; здесь принято N_{15} сек по исходной методике и согласованности двух графических фрагментов. Для остальных строк единицу и время регистрации необходимо подтвердить по журналам. ² Значения b′ сохранены из исходной таблицы, без независимого пересчета. Привязка двух графиков к блоку 70120а–70121а выполнена по таблице и также требует журнальной проверки. НТС-сокращение исходной записи, расшифровка не предоставлена. Пустые комментарии обозначены «Не указан».

Результаты и обсуждение

Сводная выборка включает семь измерений. Приведенные значения N_{15} сек изменяются от 2,5 до 129,7, а b′ - от 1,8 до 37,0. Для пяти строк отмечены звуковые либо визуальные явления; в двух строках комментарий отсутствует. Отсутствие записи не доказывает отсутствие динамических проявлений. Поскольку времена после взрыва и условия размещения датчика различаются, выборка не позволяет выделить влияние отдельного геологического или технологического фактора. [2,3]

Акустическая активность согласуется с возможным протеканием процессов микроразрушения, однако ее абсолютная величина зависит также от порогов регистрации, контакта датчика, затухания и технологических помех. Непосредственные измерения напряжений, деформаций или остаточной несущей способности для этих семи точек не представлены. Поэтому значения таблицы 1 не рассматриваются как подтверждение предельного состояния массива.

Анализ измерения в блоке 70120а–70121а, подэтаж 1

На подэтаже 1, левом фланге блока 70120а–70121а, через 3 ч 20 мин после взрыва указаны N_{15} сек = 11,1 и b′ = 3,3. В комментарии таблицы отмечен «звук в породе». На рис. 1 показан десятиминутный фрагмент наблюдения.

Графическое считывание минутного счета на рис. 1 дает последовательность приблизительно 29, 40, 31, 32, 51, 68, 56, 70, 38 и 30 импульсов. Ее сумма равна 445, среднее — 44,5 импульса/мин, а пересчет к 15 с дает $445/(4 \times 10) = 11{,}125 \approx 11{,}1$. Таким образом, графический фрагмент согласуется с единицей активности, принятой для таблицы. Этот расчет не заменяет проверку полного 20-минутного ряда.

В представленном фрагменте активность колеблется; длительная стационарность и стабильность напряженного состояния этим не доказаны. Для двухпороговой интерпретации b′ = 3,3 соответствует интегральному отношению $1/b' \approx 0{,}303$. Среднее арифметическое минутных значений $1/b'_j$ вообще не равно обратной величине интегрального b′: последняя рассчитывается по суммарным счетам каналов. Для проверки необходимы a_1,j и a_2,j.

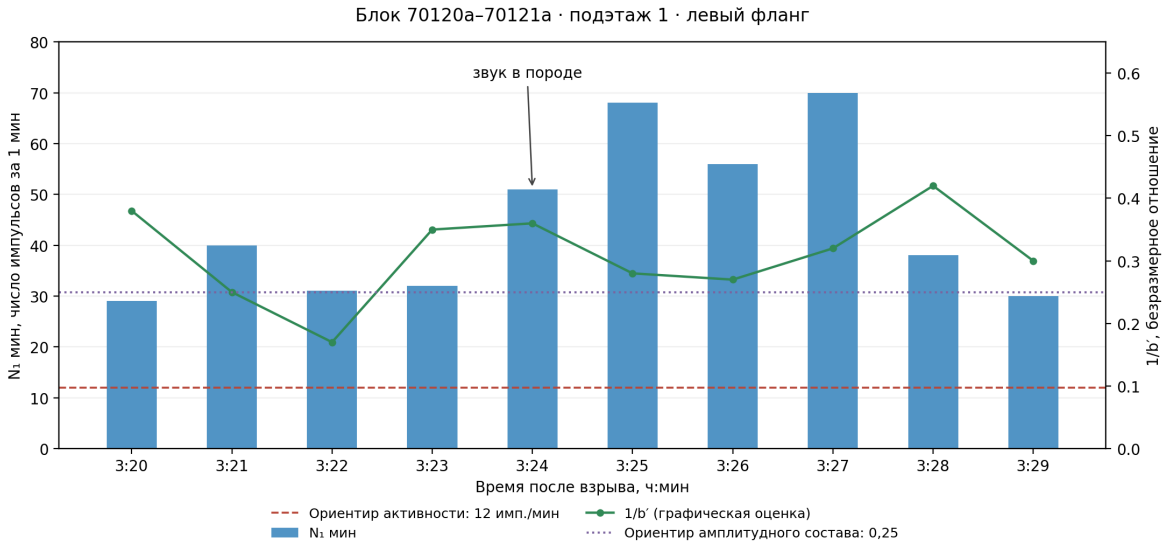


Рисунок 1. АЭ в блоке 70120а–70121а, подэтаж 1, левый фланг: десять минутных отсчетов, начиная с 3 ч 20 мин после взрыва. График восстановлен по исходному изображению; линии 12 импульсов/мин и 0,25 обозначают предварительные ориентиры. Положение пометки «звук в породе» перенесено из исходного графика

Анализ измерения в блоке 70120а–70121а, подэтаж 2

На подэтаже 2, правом фланге того же блока, измерение начато через 3 ч 32 мин после взрывных работ. В таблице указаны N_{15} сек = 3,8 и b′ = 2,4, а в комментарии отмечен щелчок во время измерения.

По рис. 2 считываются минутные значения приблизительно 20, 13, 15, 9, 13, 16, 20, 10, 9 и 27 импульсов. Сумма равна 152, среднее — 15,2 импульса/мин; после пересчета получаем 152/(4 × 10) = 3,8 импульса за 15 с. Значение b′ = 2,4 соответствует интегральному отношению 1/b′ ≈ 0,417 при применимости двухпороговой схемы. Проверить его независимо без исходных каналовых счетов невозможно.

На исходном графике перед пометкой «щелчок» наблюдается увеличение активности и отношения 1/b′, после нее — снижение обоих показателей. Это временное соседство зарегистрированного звука и изменения АЭ. Без синхронизированной записи события, локализации источника и независимого контроля массива оно не подтверждает причинную связь или успешный прогноз горного удара. Утверждение о росте энергии импульсов заменено описанием изменения амплитудного состава, поскольку калиброванные энергетические данные отсутствуют.

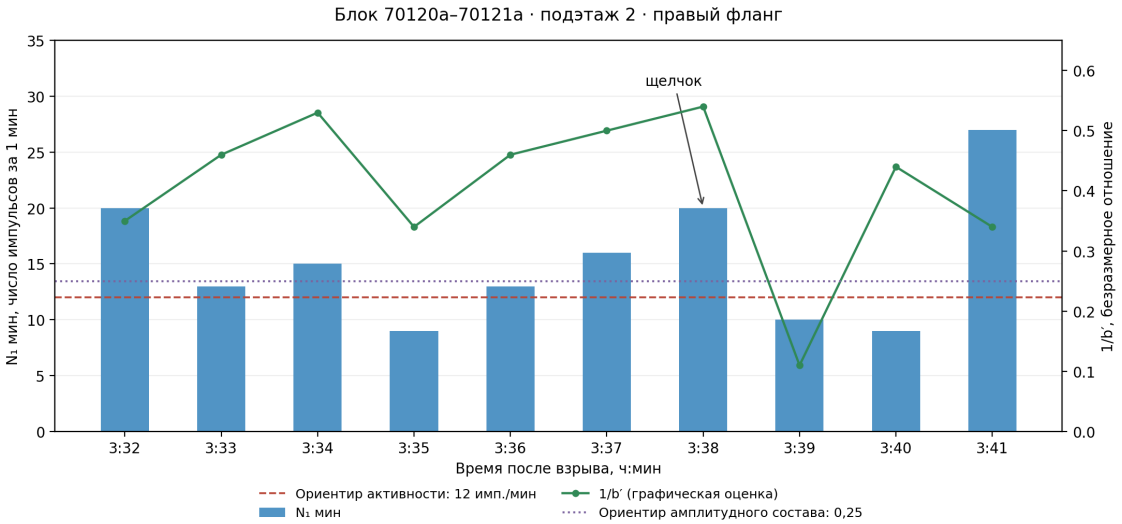


Рисунок 2. АЭ в блоке 70120а–70121а, подэтаж 2, правый фланг: десять минутных отсчетов, начиная с 3 ч 32 мин после взрыва

Сопоставление двух измерений показывает различие средней активности и амплитудного состава: на первом подэтаже N_{15} сек = 11,1 и b′ = 3,3, на втором — 3,8 и 2,4. При двухпороговой интерпретации меньшему b′ соответствует большая относительная доля импульсов выше второго порога. Это не означает, что абсолютное число таких импульсов во втором измерении больше: для этого сравнения нужны каналовые счета и одинаковые условия регистрации.

Совместное рассмотрение активности, амплитудного состава и наблюдаемых явлений дает более подробное описание акустического процесса, чем одна средняя активность. Однако диагностическая чувствительность, специфичность, вероятность ложной тревоги и время упреждения по данной выборке не определены. Ни один участок не получил независимо подтвержденную категорию удароопасности в рамках настоящего анализа.

Для проверки предварительных ориентиров необходима расширенная серия измерений в сопоставимых горнотехнических условиях, включая точки без зарегистрированных динамических проявлений. Требуется синхронное сопоставление с измерениями деформаций или напряжений, микросейсмическими наблюдениями либо документированными событиями. Методические подходы к такой проверке обсуждаются в работах [7–11]; их результаты не заменяют локальную валидацию для Зармитана. [3,4,8,10,7]

Геологические сведения о тектонической нарушенности и трещиноватости, а также данные о системах разработки и открытом выработанном пространстве задают контекст интерпретации наблюдений. Влияние этих факторов рассматривается как геомеханическая предпосылка, а не как количественно установленная зависимость по семи замерам. [5,6]

Практический результат исследования заключается в представлении сводных АЭ-наблюдений и проверке согласованности временных единиц для двух графических фрагментов. Прибор дает возможность регистрировать акустические изменения в выработках; сравнительная эффективность относительно дискования керна и других методов в настоящей работе не измерялась.

Основные ограничения — небольшая неоднородная выборка, отсутствие первичных каналовых записей, неполные временные ряды, неизвестные настройки регистрации и отсутствие независимого подтверждения состояния массива. Эти ограничения исключают

вывод о разработанном методе прогнозирования горных ударов. Результаты следует использовать как основание для организации дальнейших наблюдений и проверки предварительных критериев.

Заключение

1. Обобщены семь тестовых измерений акустической эмиссии на руднике «Зармитан». Геологические и горнотехнические сведения задают условия интерпретации, но количественная связь измеренных показателей с глубиной, трещиноватостью или напряжениями по этой выборке не установлена.

2. Унифицированы обозначения средней активности N_{15} сек и минутного счета N_1 мин. Пересчет десятиминутных фрагментов дает 11,125 ≈ 11,1 и 3,8 импульса за 15 с, что согласуется с таблицей для двух подробно рассмотренных измерений блока 70120a–70121a. Полные ряды и идентификация участков требуют сверки с журналами.

3. Различия активности и показателя b′ вместе с зарегистрированным щелчком обосновывают дальнейшее совместное изучение параметров АЭ и состояния выработок. Эти наблюдения не подтверждают достижение предельного состояния, категорию удароопасности или успешное прогнозирование горного удара.

4. Для практического применения предварительных порогов необходимы восстановление исходных счетов и настроек прибора, оценка погрешностей, расширение наблюдений и независимая проверка на участках с динамическими проявлениями и без них. До такой проверки пороги рассматриваются исключительно как исследовательские ориентиры.

Список литературы

1. Еременко А.А., Филиппов В.Н., Смирнов С.М. Оценка геодинамической активности массива горных пород в шахтном поле Казского месторождения // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2021. – Т. 8, № 1. – С. 211–217. – DOI: 10.15372/FPVGN2021080133.
2. Назаров З.С., Джиянов А.Б., Буриев Ш.У. Теоретическое исследование геомеханических характеристик процессов запредельного деформирования массива в окрестности забоя горной выработки // Горный вестник Узбекистана. – 2025. – № 3 (102). – С. 4–10.
3. Назаров З.С., Джиянов А.Б., Шарипов Л.О., Назаров А.З. Расчёт массива борта карьера методом конечных элементов в программном комплексе Midas GTS NX // Наука и образование в Каракалпакстане. – 2023. – № 1/2 (31). – С. 29–34.
4. Назаров З.С., Джиянов А.Б., Шарипов Л.О., Суннатуллоев Ш. Применение геомеханической классификации профессора Д. Лобшира для глубинного зонирования борта рудника Амантау // E3S Web of Conferences. GEOTECH. – 2023. – Т. 417.
5. Саййидкосимов С.С., Казаков А.Н., Хакбердиев М.Р., Рахимова М.Х. Оценка геомеханических условий разработки золоторудного месторождения Чармитан // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 3. – С. 29–39. – DOI: 10.25018/0236_1493_2023_3_0_29.

6. Саййидкосимов С.С., Казаков А.Н. Forecast of probability of shock hazard in conditions of underground development of Zarmitan gold deposit zones // Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses. CRC Press. – 2018. – P. 499–504.
7. Gao F., Yang L., Lu Z., Wu R., Liu W., Xi C. Real-time forecasting of brittle rock failure: a robust acoustic emission approach validated on a large experimental dataset // GeoEnergy Communications. – 2026. – Т. 2, № 1. – DOI: 10.1007/s44421-025-00014-1.
8. Liang Z., Liu X., Zhang Y., Tang C. Analysis of precursors prior to rock burst in granite tunnel using acoustic emission and far infrared monitoring // Mathematical Problems in Engineering. – 2013. – Art. 214340. – DOI: 10.1155/2013/214340.
9. Meng F., Zhou H., Wang Z., Zhang L., Kong L., Li S., Zhang C. Experimental study on the prediction of rockburst hazards induced by dynamic structural plane shearing in deeply buried hard rock tunnels // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2016. – Т. 86. – P. 210–223. – DOI: 10.1016/j.ijrmms.2016.04.013.
10. Voza A., Valguarnera L., Marrazzo R., Ascari G., Boldini D. A new in situ test for the assessment of the rock-burst alarm threshold during tunnelling // Rock Mechanics and Rock Engineering. – 2023. – Т. 56. – P. 1645–1661. – DOI: 10.1007/s00603-022-03152-8.
11. Zhang Z. z., Gao F., Shang X.-j. Rock burst proneness prediction by acoustic emission test during rock deformation // Journal of Central South University. – 2014. – Т. 21, № 1. – P. 373–380. – DOI: 10.1007/s11771-014-1950-3.

References

1. Eremenko A.A., Filippov V.N., Smirnov S.M. Assessment of geodynamic activity of the rock mass in the mine field of the Kazsky deposit // Fundamental and Applied Problems of Mining Sciences. – 2021. – Vol. 8, No. 1. – P. 211–217. – DOI: 10.15372/FPVGN2021080133.
2. Nazarov Z.S., Jiyanov A.B., Buriyev Sh.U. Theoretical investigation of the characteristics of geomechanical processes of post-limit deformation in the vicinity of the excavation face // Mining Bulletin of Uzbekistan. – 2025. – No. 3 (102). – P. 4–10.
3. Nazarov Z.S., Jiyanov A.B., Sharipov L.O., Nazarov A.Z. Calculation of the Pit Wall Mass Using the Finite Element Method in Midas GTS NX Software // Science and Education in Karakalpakstan. – 2023. – No. 1/2 (31). – P. 29–34.
4. Nazarov Z.S., Jiyanov A.B., Sharipov L.O., Sunnatulloev Sh. Application of Professor D. Lobshire’s Geomechanical Classification for In-Depth Zoning of the Amantaytau Mine Board // E3S Web of Conferences. GEOTECH. – 2023. – Vol. 417.
5. Sajjidkosimov S.S., Kazakov A.N., Hakberdiev M.R., Rahimova M.H. Geomechanical conditions of gold mining in Charmitan Mine // MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. – 2023. – No. 3. – P. 29–39. – DOI: 10.25018/0236_1493_2023_3_0_29.
6. Sajjidkosimov S.S., Kazakov A.N. Forecast of probability of shock hazard in conditions of underground development of Zarmitan gold deposit zones // Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses. CRC Press. – 2018. – P. 499–504.

7. Gao F., Yang L., Lu Z., Wu R., Liu W., Xi C. Real-time forecasting of brittle rock failure: a robust acoustic emission approach validated on a large experimental dataset // GeoEnergy Communications. – 2026. – Vol. 2, No. 1. – DOI: 10.1007/s44421-025-00014-1.
8. Liang Z., Liu X., Zhang Y., Tang C. Analysis of Precursors Prior to Rock Burst in Granite Tunnel Using Acoustic Emission and Far Infrared Monitoring // Mathematical Problems in Engineering. – 2013. – Art. 214340. – DOI: 10.1155/2013/214340.
9. Meng F., Zhou H., Wang Z., Zhang L., Kong L., Li S., Zhang C. Experimental study on the prediction of rockburst hazards induced by dynamic structural plane shearing in deeply buried hard rock tunnels // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2016. – Vol. 86. – P. 210–223. – DOI: 10.1016/j.ijrmms.2016.04.013.
10. Voza A., Valguarnera L., Marrazzo R., Ascari G., Boldini D. A New In Situ Test for the Assessment of the Rock-Burst Alarm Threshold During Tunnelling // Rock Mechanics and Rock Engineering. – 2023. – Vol. 56. – P. 1645–1661. – DOI: 10.1007/s00603-022-03152-8.
11. Zhang Z. z., Gao F., Shang X.-j. Rock burst proneness prediction by acoustic emission test during rock deformation // Journal of Central South University. – 2014. – Vol. 21, No. 1. – P. 373–380. – DOI: 10.1007/s11771-014-1950-3.