

Научная статья

УДК 622.279.6

DOI: 10.26730/1999-4125-2026-1-104-115

НАВЕДЕННАЯ НАРУШЕННОСТЬ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ МИКРОУДАРЕ

Еременко Андрей Андреевич¹, Конури́н Антон Игоревич^{1,*},
Колтышев Виталий Николаевич¹, Филиппов Владимир Николаевич¹,
Батуева Татьяна Юрьевна^{1,2}

¹ Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН

² Филиал «Евразруда-филиал АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

* для корреспонденции: konurin@misd.ru

Аннотация.

Актуальность исследований обусловлена возрастающими рисками геодинамических явлений при разработке месторождений на больших глубинах. Микроудары, инициируемые производственными процессами, приводят к катастрофическим последствиям, нарушая устойчивость подземных выработок. Классические модели не всегда адекватно описывают сложную структуру нарушенности массива, что требует применения новых подходов. Цель работы — диагностировать характер нарушенности горного массива после микроудара на Таштагольском месторождении и интерпретировать полученные данные. Задачи включали оценку эффективности разгрузочного бурения и визуального обследования для картирования зон разгрузки и уплотнения. Методы исследования включали натурные наблюдения после произошедшего микроудара: бурение разгрузочных скважин и их последующий визуальный внутрискважинный осмотр с помощью специальной диагностической аппаратуры. Результаты показали, что нарушенность массива имеет не сплошной, а четко выраженный зональный характер. В створах скважин выявлено чередование интервалов сильной и чрезвычайно трещиноватой породы (зоны дезинтеграции) с участками относительно сохранного массива (зоны уплотнения). Эта картина соответствует теоретической модели концентрических областей разгрузки и уплотнения, образующихся вследствие волнового характера перераспределения энергии после микроудара. Область применения результатов охватывает горную промышленность и подземное строительство. Результаты позволяют совершенствовать методы диагностики состояния массива, прогнозировать развитие горного давления и разрабатывать эффективные меры обеспечения устойчивости выработок на глубоких горизонтах. Полученные данные подтверждают проявление эффекта зональной дезинтеграции при микроударе. Визуальное обследование разгрузочных скважин является эффективным методом картирования зон разгрузки. Понимание зональной структуры критически важно для принятия корректных решений по креплению выработок и управлению геомеханическими рисками. Исследование представляет интерес для специалистов в области геомеханики, рудничной геологии и безопасности горных работ, предлагая комплексный подход от фиксации последствий до их практического применения..



Информация о статье

Поступила:

16 сентября 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 января 2026 г.

Принята к публикации:

12 февраля 2026 г.

Опубликована:

19 марта 2026 г.

Ключевые слова:

Геодинамические явления, напряжение, разгрузочные скважина, трещины, массив горных пород, горное давление, зоны трещиноватости

Для цитирования: Еременко А.А., Конури́н А.И., Колтышев В.Н., Филиппов В.Н., Батуева Т.Ю. Наведенная нарушенность массива горных пород при микроудара // Вестник Кузбасского

государственного технического университета. 2026. № 1 (173). С. 104-115. DOI: 10.26730/1999-4125-2026-1-104-115, EDN: ZDHFFW

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (тема № FWNZ-2026-0008)

Введение (Introduction)

Ведение горных работ на больших глубинах в условиях высокого геомеханического напряжения сопряжено с риском проявления опасных геодинамических явлений, таких как горные удары и микроудары [1, 2]. Микроудары представляют собой проявление хрупкого разрушения и высвобождения упругой энергии, что может служить предвестником более масштабных горных ударов и других опасных процессов в массиве пород. Их возникновение приводит к резкому перераспределению напряжений в приконтурном массиве, формирующему зоны нарушенности, которые напрямую влияют на устойчивость подземных выработок [3, 4]. Понимание механизмов возникновения и развития наведенной нарушенности в горных породах при микроударах позволяет прогнозировать и предотвращать критические ситуации на горнодобывающих объектах, обеспечивая безопасность производства и устойчивость горных выработок. Одним из эффективных методов управления горным давлением и снятия напряжений является бурение разгрузочных скважин [5, 6]. Их обследование предоставляет уникальную возможность изучить характер и масштабы нарушенности массива *in situ* [7, 8].

Данная работа посвящена анализу состояния массива горных пород после микроудара, произошедшего при проведении буровзрывных работ на Таштагольском месторождении. Инцидент сопровождался вывалом породы с бортов и кровли выработки. Для локализации последствий и перераспределения напряжений был применен метод разгрузочного бурения. Последующее обследование стволов скважин с помощью аппаратуры визуального осмотра выявило сложную зональную структуру нарушенности, требующую объяснения с фундаментальных физико-механических

позиций [9-11].

Железорудные месторождения Горной Шории главным образом контактово-метасоматического происхождения. Горизонтальная мощность их колеблется от 1 до 120 м. По падению они прослеживаются на глубину до 1500 м и более. Свыше 70% разведанных запасов железных руд сосредоточено в слепых рудных телах, которые не выходят на земную поверхность [12-14]. При увеличении глубины разработки месторождений возрастает исходное поле напряжений, ухудшаются горно-геологические условия, что повышает вероятность возникновения хрупких разрушений в массиве горных пород. В этих условиях особую значимость приобретает исследование наведенной нарушенности массива и выявление зон повышенной удароопасности. Горные работы ведутся на 7 горизонтах шахты по Восточному, Северо-Западному, Западному и Юго-Восточному участкам месторождения: +70, ±0, -70, -140, -210, -280, -350 м.

Технологические процессы подготовки и отработки блоков оказывают наибольшее влияние на формирование геомеханических условий ведения горных работ на месторождении. За год на Таштагольской шахте проведено более 200 массовых взрывов по отбойке в камерах и по подготовке блоков.

16.11.2024 г. на Таштагольском месторождении был зафиксирован микроудар, приведший к обрушению горных пород с бортов и кровли выработки. Анализ горно-геологических и горнотехнических условий месторождения показал, что породы на месторождении обладают высокой прочностью и интенсивным трещинообразованием. Вмещающие породы (сиениты, скарны, диориты, порфириды, граниты и песчаники) обладают высокими упругими свойствами и способностью к хрупкому разрушению [15-17].

Таблица 1. Состояние скважин на гор. -340 м
Table 1. Well condition at hor. -340 m

№ скважины	Длина скважины, м	Крупные трещины, м	Тектонические нарушения, м
Скв. 1 (верт.)	9,8	4,3; 6,7; 8,9	6,3; 9,8
Скв. 2 (верт.)	7,0		3,9; 7,0
Скв. 4 (верт.)	7,8	1,2;	7,8
Скв. 6	4,4	0,6; 3,3;	4,4
Скв. 8	17,2	2,0; 2,2; 6,8; 11,0; 13,4; 16,5; 17,0;	13,4; 16,8
Скв. 10	20,0	1,0; 1,2; 1,7; 2,0; 5,9;	11,4
Скв. 12	10,1	1,2; 1,5; 1,7; 2,8; 3,8; 7,3; 9,0	9,2; 10,1

Методы (Methods)

На Таштагольском месторождении 16.11.2024 г. на гор. -320 м был зафиксирован микроудар, приведший к обрушению горных пород с бортов и кровли выработки. В связи с этим для снижения геодинамической активности массива горных пород были пробурены на гор. -320 и -340 м веера разгрузочных скважин диаметром 105 мм на глубину до 22,7 м в бортах и кровле выработок, и проведено исследование методом визуального контроля с помощью скважинного видеозонда (Рис. 1).

Дана оценка состояния массива посредством визуального осмотра системой видеонаблюдения jProbe PIPE 400-8000. На различных расстояниях от устья в скважинах наблюдались образование трещин, их раскрытие, шлам, вода, завалы горными породами и др. (Таблицы 1, 2). Глубина обследованных скважин варьировалась от 4,4 до

22,7 м. На глубине 16,6–16,9 м наблюдалось отслоение пород.

Процедура обследования включала последовательное погружение зонда с высокоразрешающей HD-камерой и мощной системой подсветки в предварительно пробуренные разгрузочные скважины. Обследование проводилось с постоянной скоростью погружения и дополнительной фиксацией данных в характерных точках. Система обеспечивала запись видео в высоком разрешении с одновременной фиксацией глубины погружения, что позволило точно привязать все наблюдаемые дефекты к глубине залегания.

Сбор и обработка данных осуществлялись следующим образом:

- Визуальная идентификация типов нарушений на каждой глубине,

Таблица 2. Состояние скважин на гор. -320 м
Table 2. Well condition at hor. -320 m

№ скважины	Длина скважины, м	Шлам, м	Вода, м	Крупные трещины, м	Тектонические нарушения, м	Забой, м
Веер 1						
Скв. 1	11,1	0,2-1,6; 2,9-5,7; 7,4-7,8; 10,0-11,1	1,6-2,9; 5,7-7,4; 7,8-10,0		8,0	
Скв. 2	20,1		1,0-4,0; 14,2-19,0	1,2; 4,2; 8,6; 9,0; 9,8; 19,8	1,5	20,1
Скв. 4	11,3		0,0-12,3		1,6; 7,1	
Скв. 5	7,9	0,6-1,5; 1,8-7,9				
Веер 2						
Скв. 1	5,5		0,2-5,5	2,6; 3,4; 4,5		
Скв. 2	13,1		0,0-5,5	3,1; 4,8; 10,5; 12,0	5,5	
Скв. 4	22,7			2,8; 5,0; 6,1; 9,0; 12,0; 16,3	4,5	22,7
Скв. 5	16,0	0,0-0,6; 0,9-1,4; 2,0-5,0; 5,3-8,0; 9,2-11,1; 12,6-14,9;		5,0; 5,2		16,0

Таблица 3. Классификация горных пород по трещиноватости
Table 3. Classification of rocks by jointing

Категории по трещиноватости	Степень трещиноватости массива	Среднее расстояние между трещинами, м	Удельная трещиноватость, м
1	Чрезвычайно трещиноватые	До 0,1	Более 10
2	Сильнотрещиноватые	0,1–0,5	10–2
3	Трещиноватые	0,5–1	2–1
4	Малотрещиноватые	1–1,5	1–0,65
5	Монолитные	Свыше 1,5	До 0,65

- Фотофиксация характерных участков,
- Составление детального литологического и деформационного разреза по стволу каждой скважины,
- Корреляция нарушений между соседними скважинами.

На различных расстояниях от устья скважин были зафиксированы следующие типы нарушений:

- Поперечные и продольные трещины с раскрытием от 1-2 мм до 10-15 мм,
- Участки интенсивной сетчатой трещиноватости,
- Скопления бурового шлама и продуктов разрушения породы,

- Притоки грунтовых вод из трещин и пустот,
- Локальные завалы и обрушения стенок скважин,
- Зоны с изменением цвета и структуры породы.

Особое внимание уделялось документированию морфологии трещин (ориентация, раскрытие, заполнение, свежесть сколов) и характеру завалов, что позволило дифференцировать недавние нарушения, связанные с микроударом, от ранее существовавших тектонических нарушений.

Для обеспечения достоверности результатов обследование каждой скважины проводилось не

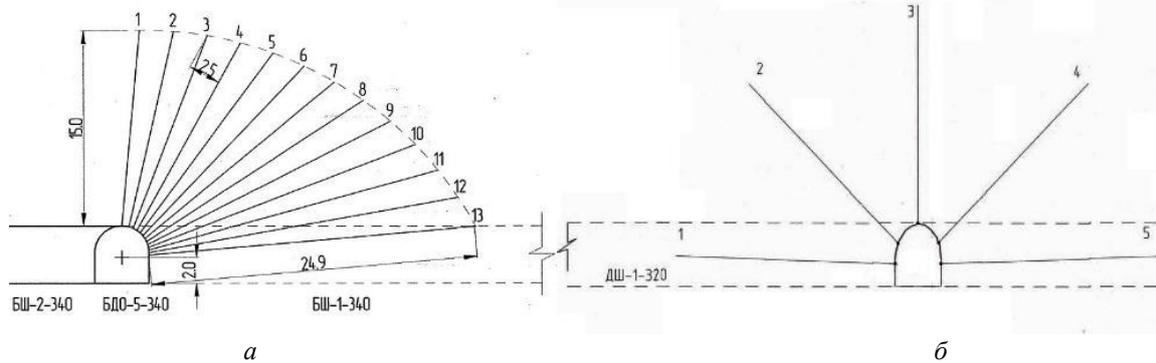


Рис. 1. Схема расположения вееров разгрузочных скважин а) на гор. -340м; б) на гор. -320м. БШ – буровой штрек; ДШ – доставочный штрек; БДО – буродоставочный орт; 1-13 – номера скважин
 Fig. 1. Layout of unloading wells a) on the horizon -340 m; b) on the horizon -320 m. БШ – drilling drift; ДШ – delivery drift; БДО drilling delivery ort; 1-13 – well numbers

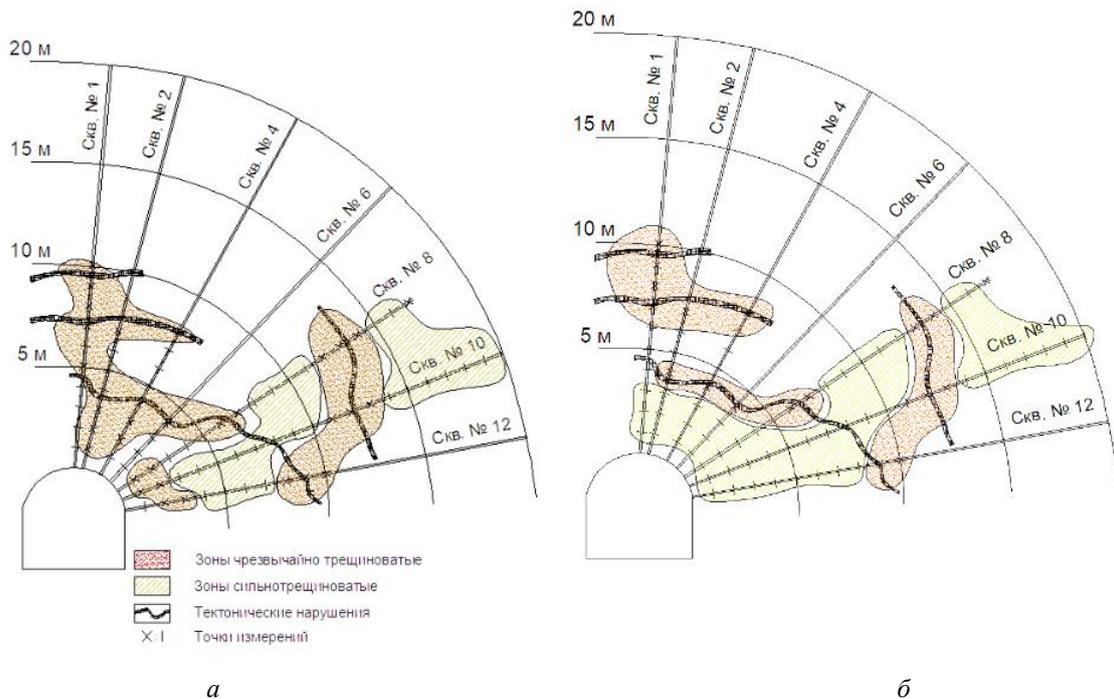


Рис. 2. Схема расположения разгрузочных скважин и зон трещиноватости в массиве, определенные а) по поперечным трещинам гор. -320 м, б) по продольным трещинам гор. -340 м
 Fig. 2. The layout of relief wells and fracture zones in the massif, determined by a) transverse fractures of the -320 m horizon, b) longitudinal fractures of the -340 m horizon

менее двух раз – в прямом и обратном направлении движения зонда. Полученные материалы подвергались экспертной оценке с привлечением данных о литологическом составе вмещающих пород и результатах геомеханического моделирования напряженного состояния массива до и после события.

Результаты исследования (Results)

Обследуемые скважин на разных глубинах попадали в зоны чрезвычайно трещиноватого и сильно трещиноватого массива, где удельная трещиноватость составляла 2-10 и более 10 (Рис. 2). На гор. -340 наиболее нарушенные скважины по поперечным трещинам № 1, 2, 4, 6 на глубине от 1,0 до 5,0 и от 7,0 до 10,0 м от устья. Скважины № 8, 10, 12 на глубине 1,0–3,0 и от 8,0 до 14 м. (Таблица 3; Рис. 2, а).

Детальный анализ данных, полученных при визуальном обследовании разгрузочных скважин, выявил сложную пространственную структуру нарушенности массива горных пород. Обследуемые скважины на различных глубинах попадали в зоны с различной степенью нарушенности, классифицированные по величине удельной трещиноватости.

На Рис. 2, б показано распределение продольных трещин в разгрузочных скважинах на гор. -340 м. Основные нарушения и высокая трещиноватость также приходится на места нарушений от 3,0 до 7, от 7 до 11 и от 8 до 14 м.

Были идентифицированы и картированы два основных типа зон:

- Зоны чрезвычайно трещиноватого массива с удельной трещиноватостью более 10 трещин на погонный метр;
- Зоны сильно трещиноватого массива с удельной трещиноватостью от 2 до 10 трещин на погонный метр.

На горизонте -340 м была выявлена наиболее сложная картина распределения нарушений. Анализ показал, что скважины № 1, 2, 4 и 6 характеризовались наличием двух ярко

выраженных интервалов интенсивной нарушенности: в диапазонах глубин от 1,0 до 5,0 м и от 7,0 до 10,0 м от устья. В этих интервалах наблюдалось развитие преимущественно поперечных трещин с раскрытием до 10-15 мм, многочисленные вывалы породы и скопления разрушенного материала.

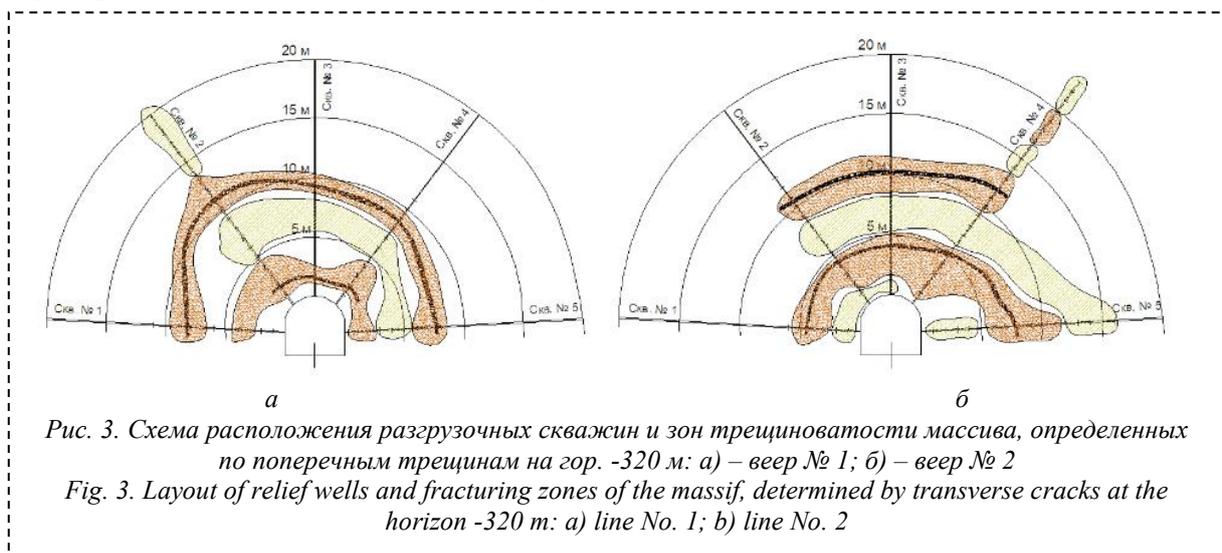
Скважины № 8, 10 и 12 показали аналогичную, но не идентичную картину нарушенности. Для этих выработок характерные зоны нарушений были зафиксированы на глубинах 1,0-3,0 м и 8,0-14,0 м от устья. Особенностью данных скважин стало наличие протяженной зоны нарушений в нижнем интервале (до 6 м по вертикали), где наблюдалось сочетание поперечных и продольных трещин с интенсивным водопритоком.

Между выделенными зонами интенсивной трещиноватости наблюдались интервалы (5,0-7,0 м в первых четырех скважинах и 3,0-8,0 м в последних трех) с относительно сохранным массивом, где удельная трещиноватость не превышала 1-2 трещины на погонный метр. Данные участки характеризовались отсутствием свежих сколов и минимальным раскрытием существующих трещин.

Полученная картина пространственного распределения зон нарушенности демонстрирует волновой характер распространения повреждений от эпицентра микроудара и подтверждает модель зональной дезинтеграции горных пород при динамических воздействиях.

В районе микроудара было обследовано 2 веера скважин, где наибольшие нарушения в скважинах наблюдались по поперечным трещинам от 1,0 до 6,0 и от 9,0 до 13,0 м от устья скважин в зонах чрезвычайно трещиноватого массива, на расстояниях от 5 до 9 м выявлена зона сильно трещиноватого массива (Рис. 3).

Распределение продольных трещин в разгрузочных скважинах в двух веерах на гор. -



320 м показано на Рис. 4. Основные нарушения и высокая трещиноватость приходится на места расположения тектонических нарушений. В веере № 1 выявлены зоны сильно трещиноватого массива, которые находятся от 1,0 до 5 и от 6 до 20 м от устья скважин. В веере № 2 – от 1 и до 4 м, наблюдается зона сильно трещиноватого массива с переходом в зону чрезвычайно трещиноватого массива. Далее скважины с глубины 6 и 9-10 м попадают в зону сильнотрещиноватого массива и снова переходят в зону чрезвычайно трещиноватую.

Анализ данных выявил, что основные нарушения и участки высокой трещиноватости приурочены к зонам тектонических нарушений, что указывает на активизацию деструктивных ослабленных зон под воздействием волны напряжений от микроудара. Чередование интервалов свидетельствует о том, что массив среагировал на динамическое воздействие формированием нескольких концентрических зон дезинтеграции (разрушения), разделенных относительно уплотненными и менее поврежденными кольцевыми областями. Активизация нарушений по тектоническим зонам подтверждает, что именно они явились очагами концентрации напряжений и начальными пунктами развития деструктивных процессов.

Выявленные зоны чрезвычайно трещиноватого массива представляют собой потенциальные каналы обрушения и требуют применения усиленных мер поддержания, таких как анкерная крепь с набрызгбетоном или установка дополнительных арок крепи.

На Рис. 5 показан характер разрушения стенок разгрузочных скважин в результате роста горного давления, подвижки горных пород и др. Анализ полученных материалов позволяет идентифицировать несколько типов деформационных процессов, вызванных действием высокого горного давления и

подвижками массива:

- Пластическое течение и выдавливание породы наблюдается на участках скважин, сложенных слабыми породами. Проявляется в виде бочкообразного расширения ствола скважины и образования локальных сужений. Эти явления особенно выражены в зонах тектонических нарушений, где прочность пород снижена.

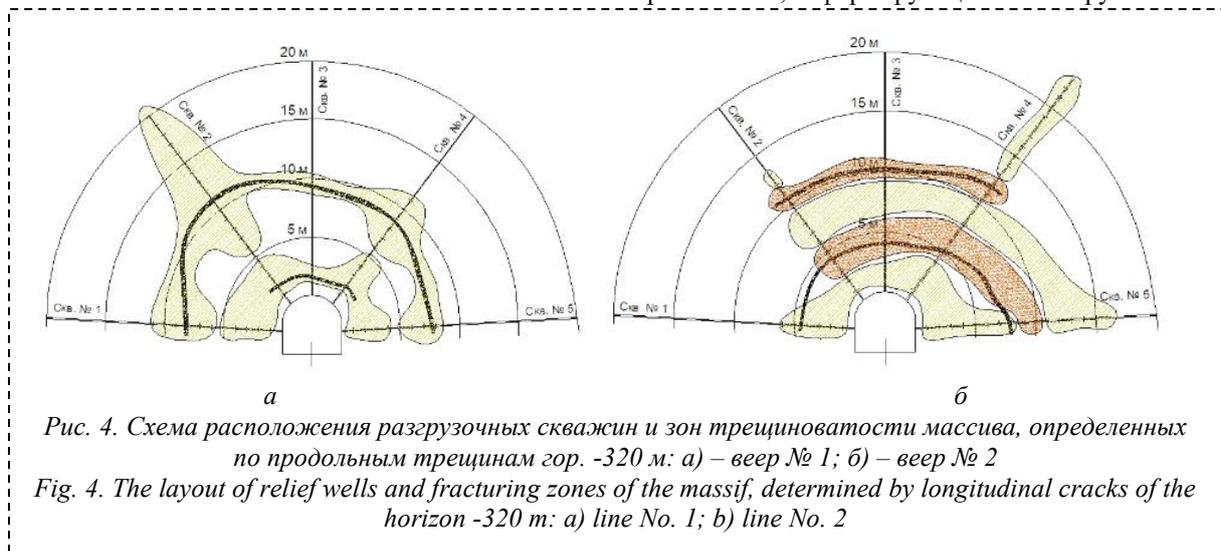
- Откольные разрушения характерны для крепких хрупких пород. Проявляются в виде пластинчатого расслоения стенок скважин с образованием тонких чешуек и пластин. Данный тип разрушения указывает на действие высоких тангенциальных напряжений в прискважинной зоне.

- Сдвиговые нарушения фиксируются в виде систем параллельных трещин. Угол наклона этих нарушений (45-60°) соответствует направлениям действия максимальных касательных напряжений.

- Зоны интенсивного дробления породы наблюдаются в интервалах взаимодействия разнородных по механическим свойствам пород и особенно выражены на контактах крепких песчаников и слабых алевролитов.

Сравнительный анализ пространственного распределения этих типов разрушений показывает их четкую приуроченность к ранее выявленным зонам повышенной трещиноватости. Наиболее интенсивные разрушения отмечаются в интервалах 4-6 м и 9-12 м от устья скважин, что коррелирует с положением зон чрезвычайно трещиноватого массива.

Полученные данные подтверждают циклический характер распределения напряжений в массиве после микроудара. Чередование зон с различным характером и интенсивностью разрушений соответствует положению концентрических областей сжатия и растяжения, формирующихся вокруг очага



динамического воздействия.

Таким образом установлено, что в веерах скважин на гор. -340 и -320 м чрезвычайно трещиноватые зоны формируются в массиве горных пород в районах геологических нарушений и крупных трещин с переходом в сильнотрещиноватые зоны.

В зонах чрезвычайно трещиноватого массива наблюдалось нарушение скважин с вывалом пород и с полным перекрытием скважины. По характеру разрушений скважин следует отметить, что произошла разгрузка массива в районе ДШ -1 -320, гор. -320 м, где и произошел микроудар.

Обсуждение (Discussion)

Результаты визуального обследования разгрузочных скважин показали не сплошное, а дискретно-зональное нарушение массива. Наблюдаемые по всей длине скважин участки сильной и чрезвычайно трещиноватой породы, перемежающиеся с более устойчивыми интервалами, не могут быть адекватно объяснены в рамках классических моделей формирования одной зоны неупругих деформаций вокруг выработки [18-23].

Обнаруженная картина является прямым следствием эффекта зональной дезинтеграции горных пород (ЭЗД), активизированного геодинамическим явлением. Микроудар, вызванный буровзрывными работами, представлял собой динамический, высокоэнергетический акт снятия напряжений в ограниченном объеме массива. Этот процесс

носил взрывной характер, породив ударные волны, распространившиеся вглубь массива. В соответствии с моделью ЭЗД распространяющаяся от очага микроудара волна напряжений инициировала циклический процесс последовательного разрушения и уплотнения породы. В зонах, где преобладали растягивающие напряжения, происходило образование поперечных и продольных трещин, наблюдались вывалы — эти интервалы зафиксированы аппаратурой как «сильно и чрезвычайно трещиноватые». Они являются зонами динамической разгрузки массива. Соседние с ними участки, на которых визуальный осмотр показал меньшую плотность трещин, являются зонами уплотнения. В этих областях массив, испытав пиковое сжатие после прохождения волны, перешел в состояние псевдоупругого деформирования с повышенной плотностью. Таким образом, разгрузочная скважина, пробуренная после события, фактически вскрыла естественный срез этой концентрической структуры, подтвердив наличие нескольких кольцевых зон дезинтеграции и уплотнения, расходящихся от эпицентра микроудара.

Практическое значение наблюдений. Выявленные зоны интенсивной трещиноватости являются не просто следствием повреждения, но и каналами разгрузки массива. Их локализация позволяет точно определить области, где произошло наиболее значительное перераспределение энергии, и оценить

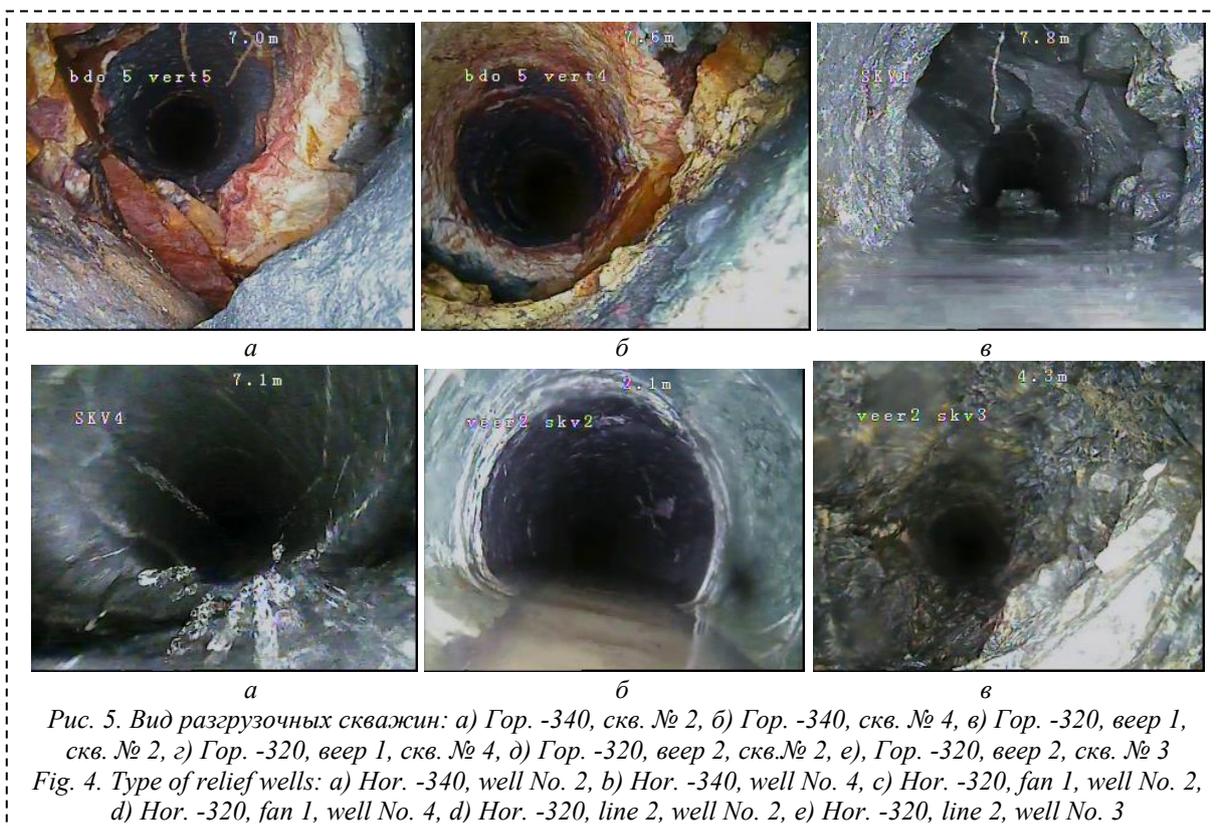


Рис. 5. Вид разгрузочных скважин: а) Гор. -340, скв. № 2, б) Гор. -340, скв. № 4, в) Гор. -320, веер 1, скв. № 2, г) Гор. -320, веер 1, скв. № 4, д) Гор. -320, веер 2, скв. № 2, е) Гор. -320, веер 2, скв. № 3
 Fig. 4. Type of relief wells: a) Hor. -340, well No. 2, b) Hor. -340, well No. 4, c) Hor. -320, fan 1, well No. 2, d) Hor. -320, fan 1, well No. 4, d) Hor. -320, line 2, well No. 2, e) Hor. -320, line 2, well No. 3

эффективность проведенных мероприятий. Наличие таких зон свидетельствует о том, что массив активно перестраивается для перехода в новое устойчивое состояние после произошедшего нарушения.

Выводы (Conclusion)

Проведенные исследования показали, что последствия микроудара на Таштагольском месторождении проявляются в формировании сложной зональной структуры нарушенности приконтурного массива, что полностью соответствует теоретическим представлениям об эффекте зональной дезинтеграции.

Нарушенность массива носит не случайный, а закономерный зонально-дискретный характер, что подтверждается чередованием интервалов с различной степенью трещиноватости по стволам разгрузочных скважин.

Обследование разгрузочных скважин является высокоинформативным методом диагностики состояния массива и позволяет напрямую визуализировать проявление ЭЗД, выявляя как зоны разгрузки (интенсивной трещиноватости), так и косвенно зоны уплотнения.

Полученные данные имеют важное прикладное значение для оценки фактического состояния массива после геодинамического события, прогноза дальнейшего поведения горного давления и разработки адекватных мер по обеспечению устойчивости подземных выработок на Таштагольском и аналогичных месторождениях.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на математическое моделирование процесса формирования зон дезинтеграции с учетом конкретных параметров микроудара и свойств вмещающих пород для разработки предиктивных моделей.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (тема № FWNZ-2026-0008)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козырев А. А. Геомеханическое обоснование ведения горных работ на удароопасных рудных месторождениях // Горная промышленность. 2023. № S1. С. 4-13. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-S1-04-13.
2. Ли К. Х., Иванов В. В. Исследования изменения удельного электросопротивления горных пород таштагольского рудника в критическом удароопасном состоянии на основе кинетической концепции разрушения твердых тел // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 12. С. 19-25. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-12-19-25.
3. Айтматов И. Т., Тажибаев К. Т. Генетические остаточные напряжения как фактор

геомеханической неоднородности и тектонических горных ударов // Современные проблемы механики. 2020. № 41 (3). С. 31-45.

4. Kamran M., Faizan M., Wang S., Han B., Wang W.Y. Generative AI and Prompt Engineering: Transforming Rockburst Prediction in Underground Construction // Buildings. 2025. 15. 1281. DOI: 10.3390/buildings15081281.

5. Карпов В. Н., Конурин А. И., Орлов Д. В. Опыт и перспективы применения способов исследования процессов механического разрушения горных пород при бурении скважин // Техника и технология горного дела. 2024. № 2 (25). С. 41-78.

6. Zhou J., Zhang Y., Li C., He H., Li X. Rockburst prediction and prevention in underground space excavation // Underground Space. 2023. DOI: 10.1016/j.undsp.2023.05.009.

7. Семенова И. Э., Амосов П. В., Кузнецов Н. Н., Некрасов В. А. Развитие подходов к расчету параметров напряженно-деформированного состояния массива пород по результатам измерений деформаций на торце скважины // Горная промышленность. 2024. № S5. С. 122-129.

8. Zhu Z., Sun F., Jiaqi G. Study on Rockburst Tendency of Deep Underground Engineering based on Multi-Factor Influence. Electronic Journal of Structural Engineering. 2023. 23. 1-12. DOI: 10.56748/ejse.233391.

9. Хачай О. А., Хачай А. Ю., Хачай О. Ю. Определение иерархической структуры зон дезинтеграции по данным акустического мониторинга в удароопасных шахтах // В сб.: Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Материалы всероссийской конференции с международным участием. Екатеринбург, 2021. С. 231-234.

10. Тажибаев К. Т., Маканов К. М. Исследования напряжений и разрушения горных пород на основе волновых процессов // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2022. Т. 22. № 8. С. 206-211. DOI: 10.36979/1694-500X-2022-22-8-206-211.

11. Рукавишников Г. Д., Мулев С. Н., Гаврилов А. Г. Опыт применения и перспективы развития системы сейсмического мониторинга ГИТС на Таштагольском железорудном месторождении // Горная промышленность. 2023. № S1. С. 90-95. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-S1-90-95

12. Масаев Ю. А., Копытов А. И., Масаев В. Ю. Исследование условий формирования врубовой полости для повышения качества взрыва и предотвращения горных ударов // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2022. № 3. С. 23-29.

13. Лобанова Т. В., Лобанов С. А. Исследование влияния короткопериодных

движений горных пород на сейсмическую активность месторождений // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2021. Т. 8. № 1. С. 237-243. DOI: 10.15372/FPVGN2021080137.

14. Еременко А. А., Конури́н А. И., Штирц В. А., Волков А. В. Особенности геодинамического состояния массива горных пород при массовых технологических взрывах на удароопасных железорудных месторождениях // Горный журнал. 2024. № 1. С. 50-56.

15. Ли К. Х. Разработка методики электрометрического прогноза удароопасности железорудных месторождений на основе кинетической концепции подготовки горных ударов // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2020. № 2. С. 59-66. DOI: 10.25558/VOSTNII.2020.83.93.007.

16. Ли К. Х., Иванов В. В. Кинетические представления о разрушении горных пород при подготовке горных ударов // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2020. № 2. С. 38-40.

17. Трофимов А. В., Киркин А. П., Румянцев А. Е., Колганов А. В. Использование данных акустического сканирования стенок глубоких скважин для воссоздания действующего режима напряжений на полиметаллическом месторождении интрузивного генезиса // Горный журнал. 2024. № 1. С. 68-74.

18. Kumar V. Micro-seismic monitoring for analyzing dynamic stability of underground

powerhouse caverns in Himalayan region // Doctor of Philosophy in GEOPHYSICS. 2020. DOI: 10.13140/RG.2.2.34827.60961.

19. Wang C., Zhao X., Zhu Q., Yu W., Wu T. Microseismic source location method and microseismic event source parameter characteristic analysis for surface microseismic system // Mining, Metallurgy & Exploration. 2025. Vol. 42. Iss. 5. Pp. 2963-2980. DOI: 10.1007/s42461-025-01322-0.

20. Yan H., Li H., Xie H., Xiao M., Pei J., Liu H., He J. A review on rockburst prediction and prevention to shape an ontology-based framework for better decision-making for underground excavations // Deep Underground Science and Engineering. 2025. DOI: 10.1002/dug2.70034.

21. Wang Y. H., Ma G., Rezanian M. A granular anisotropic model of underground rockburst considering the effect of radial stresses // Tunnelling and Underground Space Technology. 2025. 155. 106202. DOI: 10.1016/j.tust.2024.106202.

22. Daniel C., Cheng S., Yin X., Barrie Z. M., Pan Y., Liu Q., Gao F., Li M., Huang X. AI-aided short-term decision making of rockburst damage scale in underground engineering // Underground Space. 2025. 23. DOI: 10.1016/j.undsp.2025.02.005.

23. Jiadong Q., Xie H., Zhu J., Wang J., Jh D. Dynamic response and rockburst characteristics of underground cavern with unexposed joint // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2023. 169. 105442. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2023.105442.

© 2026 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Еременко Андрей Андреевич, главный научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, (630091, Россия, Новосибирск, Красный пр., 54), д.т.н., проф., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7342-7617>, e-mail: EremenkoA1949@yandex.ru

Конури́н Антон Игоревич, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, (630091, Россия, Новосибирск, Красный пр., 54), к.т.н., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3373-2382>, e-mail: konurin@misd.ru

Колтышев Виталий Николаевич, младший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, (630091, Россия, Новосибирск, Красный пр., 54), e-mail: Witalq@mail.ru

Филиппов Владимир Николаевич, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, (630091, Россия, Новосибирск, Красный пр., 54), к.т.н., e-mail: filippov144@yandex.ru

Батуева Татьяна Юрьевна, инженер-конструктор, Филиал «Евразруда-филиал АО «ЕВРАЗ ЗСМК» (654018, Кемеровская область, г.о. Новокузнецкий, г Новокузнецк, р-н Центральный, ш Кондомское, д. 39), аспирант, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, (630091, Россия, Новосибирск, Красный пр., 54) e-mail: lobovaT@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Еременко Андрей Андреевич – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент;
Конурин Антон Игоревич – концептуализация исследования, написание текста, выводы;
Колтышев Виталий Николаевич – сбор и анализ данных, написание текста, выводы;
Филиппов Владимир Николаевич – обзор соответствующей литературы, научный менеджмент;
Батуева Татьяна Юрьевна – обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article**INDUCED DISTURBANCE OF ROCK MASSIF DURING MICROBURST**

Andrey A. Eremenko¹, Anton I. Konurin^{1,*},
Vitaly N.K. Koltyshev¹, Vladimir N. Filippov¹,
Tatyana Yu. Batueva²

¹ N.A. Chinakal Institute of Mining SB RAS

² Branch of Evrazruda - branch of JSC EVRAZ ZSMK

* for correspondence: konurin@misd.ru

Abstract.

The relevance of the research is due to the increasing risks of geodynamic phenomena during the development of deposits at great depths. Micro-impacts initiated by production processes lead to catastrophic consequences, disrupting the stability of underground workings. Classical models do not always adequately describe the complex structure of rock mass disturbance, which requires the use of new approaches. The aim of the work is to diagnose the nature of rock mass disturbance after a microburst at the Tashtagol field and to interpret the data obtained. The tasks included assessing the effectiveness of relief drilling and visual inspection for mapping the zones of unloading and compaction. The research methods included in-kind observations after the microburst: drilling relief wells and their subsequent visual downhole inspection using special diagnostic equipment. The results showed that the rock mass disturbance is not continuous, but has a clearly defined zonal nature. The well sections revealed alternating intervals of heavily and extremely fractured rock (disintegration zones) with areas of relatively intact rock mass (compaction zones). This picture corresponds to the theoretical model of concentric zones of unloading and compaction formed due to the wave nature of energy redistribution after a microburst. The scope of application of the results covers the mining industry and underground construction. The results allow us to improve the methods for diagnosing the state of the massif, predict the development of rock pressure and develop effective measures to ensure the stability of workings at deep horizons. The data obtained confirm the manifestation of the zonal disintegration effect during a microblow. Visual inspection of relief holes is an effective method for mapping relief zones. Understanding the zonal structure is critical for making correct decisions on supporting workings and managing geomechanical risks. The study is of interest to specialists in the field of geomechanics, mine geology and mining safety, offering a comprehensive approach from recording the consequences to their practical application.

**Article info**

Received:

16 September 2025

Accepted for publication:

15 January 2026

Accepted:

12 February 2026

Published:

19 March 2026

Keywords: *Geodynamic phenomena, stress, relief borehole, cracks, rock mass, rock pressure, fracturing zones*

For citation: Eremenko A.A., Konurin A.I., Koltyshev V.N., Filippov V.N., Batueva T.Yu. Induced disturbance of rock massif during microburst. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2026; 1(173):104-115. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2026-1-104-115, EDN: ZDHFFW

REFERENCES

1. Kozyrev A.A. Geomechanical justification of mining operations at rock burst hazardous ore deposits. *Mining industry*. 2023; S1:4-13. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-S1-04-13.
2. Li K.Kh., Ivanov V.V. Study of changes in the specific electrical resistance of rocks of the Tashtagol mine in a critical rock burst hazardous state based on the kinetic concept of destruction of solids. *Occupational safety in industry*. 2020; 12:19-25. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-12-19-25.
3. Aitmatov I.T., Tazhibayev K.T. Genetic residual stresses as a factor of geomechanical heterogeneity and tectonic rock bursts. *Modern problems of mechanics*. 2020; 41(3):31-45.
4. Kamran M., Faizan M., Wang S., Han B, Wang W.Y. Generative AI and Prompt Engineering: Transforming Rockburst Prediction in Underground Construction. *Buildings*. 2025;15:1281. DOI: 10.3390/buildings15081281.
5. Karpov V.N., Konurin A.I., Orlov D.V. Experience and prospects for applying methods for studying the processes of mechanical destruction of rocks during well drilling. *Mining engineering and technology*. 2024; 2(25):41-78.
6. Zhou J., Zhang Y., Li C., He H., Li X. Rockburst prediction and prevention in underground space excavation. *Underground Space*. 2023. DOI: 10.1016/j.undsp.2023.05.009.
7. Semenova I.E., Amosov P.V., Kuznetsov N.N., Nekrasov V.A. Development of approaches to calculating the parameters of the stress-strain state of a rock mass based on the results of deformation measurements at the borehole end. *Mining Industry*. 2024; S5:122-129.
8. Zhu Z., Sun F., Jiaqi G. Study on Rockburst Tendency of Deep Underground Engineering based on Multi-Factor Influence. *Electronic Journal of Structural Engineering*. 2023. 23. 1-12. DOI: 10.56748/ejse.233391.
9. Khachay O.A., Khachay A.Yu., Khachay O.Yu. Determination of the hierarchical structure of disintegration zones based on acoustic monitoring data in rockburst-hazardous mines. *In the collection: Deep structure, geodynamics, thermal field of the Earth, interpretation of geophysical fields. Proceedings of the All-Russian conference with international participation*. Ekaterinburg, 2021. Pp. 231-234.
10. Tazhibayev K.T., Makanov K.M. Studies of stresses and fracture of rocks based on wave processes. *Bulletin of the Kyrgyz-Russian Slavic University*. 2022; 22(8):206-211. DOI: 10.36979/1694-500X-2022-22-8-206-211.
11. Rukavishnikov G.D., Mulev S.N., Gavrilov A.G. Experience of application and development prospects of the GITS seismic monitoring system at the Tashtagol iron ore deposit. *Mining industry*. 2023; S1:90-95. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-S1-90-95.
12. Masaev Yu.A., Kopytov A.I., Masaev V.Yu. Study of the conditions for the formation of a cutting cavity to improve the quality of the blast and prevent rock bursts. *Bulletin of the scientific center for safety in the coal industry*. 2022; 3:23-29.
13. Lobanova T.V., Lobanov S.A. Study of the influence of short-period rock movements on the seismic activity of deposits. *Fundamental and applied issues of mining sciences*. 2021; 8(1):237-243. DOI: 10.15372/FPVGN2021080137.
14. Eremenko A.A., Konurin A.I., Shtirts V.A., Volkov A.V. Features of the geodynamic state of the rock mass during mass technological explosions at rock burst hazardous iron ore deposits. *Mining magazine*. 2024; 1:50-56.
15. Li K.H. Development of a methodology for electrometric forecasting of the rock burst hazard of iron ore deposits based on the kinetic concept of rock burst preparation. *Bulletin of the Scientific Center of the Eastern Research Institute for Industrial and Environmental Safety*. 2020; 2:59-66. DOI: 10.25558/VOSTNIL.2020.83.93.007.
16. Li K.Kh., Ivanov V.V. Kinetic concepts of rock destruction during rock burst preparation. *Bulletin of the Scientific Center for Work Safety in the Coal Industry*. 2020; 2:38-40.
17. Trofimov A.V., Kirkin A.P., Rumyantsev A.E., Kolganov A.V. Using deep borehole wall acoustic scanning data to recreate the current stress regime at a polymetallic deposit of intrusive genesis. *Mining Journal*. 2024; 1:68-74.
18. Kumar V. Micro-seismic monitoring for analyzing dynamic stability of underground powerhouse caverns in the Himalayan region. *Doctor of Philosophy in GEOPHYSICS*. 2020. DOI: 10.13140/RG.2.2.34827.60961.
19. Wang C., Zhao X., Zhu Q., Yu W., Wu T. Microseismic source location method and microseismic event source parameter characteristic analysis for surface microseismic system. *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2025; 42(5):2963-2980. DOI: 10.1007/s42461-025-01322-0. DOI: 10.1007/s42461-025-01322-0.
20. Yan H., Li H., Xie H., Xiao M., Pei J., Liu H., He J. A review on rockburst prediction and prevention to shape an ontology-based framework for better decision-making for underground excavations. *Deep Underground Science and Engineering*. 2025. DOI: 10.1002/dug2.70034.
21. Wang Y.H., Ma G., Rezanian M. A granular anisotropic model of underground rockburst considering the effect of radial stresses. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2025; 155:106202. DOI: 10.1016/j.tust.2024.106202.
22. Daniel C., Cheng S., Yin X., Barrie Z. M., Pan Y., Liu Q., Gao F., Li M., Huang X. AI-aided short-term decision making of rockburst damage scale in underground engineering. *Underground Space*. 2025; 23. DOI: 10.1016/j.undsp.2025.02.005.
23. Jiadong Q., Xie H., Zhu J., Wang J., Jh D. Dynamic response and rockburst characteristics of underground cavern with unexposed joint. *International*

Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2023; 169:105442. DOI: 10.1016/j.jrmms.2023.105442.

© 2026 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Andrey A. Eremenko, Chief Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution N. A. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (630091, Russia, Novosibirsk, Krasny pr., 54), Doctor of Technical Sciences, Prof., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7342-7617>, e-mail: EremenkoA1949@yandex.ru

Anton I. Konurin, Senior Researcher, N. A. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, (630091, Russia, Novosibirsk, Krasny pr., 54), Ph.D., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3373-2382>, e-mail: konurin@misd.ru

Vitaliy N. Koltyshev, Junior Researcher, N. A. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (630091, Russia, Novosibirsk, Krasny pr., 54), e-mail: Witalq@mail.ru

Vladimir N. Filippov, Senior Researcher, N. A. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (630091, Russia, Novosibirsk, Krasny pr., 54), Ph.D., e-mail: filippov144@yandex.ru

Tatyana Y. Batueva, design engineer, Branch "Evrazruda - branch of JSC "EVRAZ ZSMK" (654018, Kemerovo Region, Novokuznetsky urban district, Novokuznetsk, Central district, Kondomskoe highway, 39), graduate student, N. A. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, (630091, Russia, Novosibirsk, Krasny pr., 54), e-mail: lobovaT@mail.ru

Contribution of the authors:

Andrey A. Eremenko – formulation of the research problem, scientific management;

Anton I. Konurin – conceptualization of the research, writing the text, conclusions;

Vitaliy N. Koltyshev – collection and analysis of data, writing the text, conclusions;

Vladimir N. Filippov – review of relevant literature, scientific management;

Tatyana Y. Batueva – review of relevant literature, collection and analysis of data.

All authors have read and approved the final manuscript.

