РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

2022

УДК 622.831; 622.35

МОНИТОРИНГ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ПРИ ОСВОЕНИИ УДАРООПАСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А. А. Еременко^{1,2}, С. Н. Мулев³, В. А. Штирц⁴

¹Институт горного дела им. Н. А. Чинакала, E-mail: eremenko@ngs.ru, Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия ²Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, E-mail: eremenko@ngs.ru, ул. Весенняя, 28, 650000, г. Кемерово, Россия ³AO "ВНИМИ", E-mail: mulev@vnimi.ru, 22-я линия Васильевского острова, 3, 199106, г. Санкт-Петербург, Россия

⁴ "Евразруда — филиал АО "Евраз ЗСМК", E-mail: Vladimir Shtirts@ evraz.com, ул. Советская, 1а, 652971, пгт. Шерегеш, Кемеровская область, Россия

Для условий отработки месторождений Горной Шории, относящихся к категории удароопасных, выявлены особенности формирования напряженно-деформированного состояния рудопородного массива. Изложены результаты исследований по разработке критериев удароопасности горных пород микросейсмическим методом. Выполнен прогноз возникновения геодинамических явлений при массовых взрывах в эксплуатационных блоках с установлением местоположения возможных нарушений пород в горных выработках на основе полученных закономерностей распределения толчков различного энергетического класса.

Массив горных пород, напряженно-деформированное состояние, геодинамические явления, удароопасность, технология, система разработки, взрыв, блок

DOI: 10.15372/FTPRPI20220102

Высокая конкурентность на рынке железорудного сырья диктует необходимость увеличения объемов добычи полезных ископаемых. Действующие рудники вынуждены вовлекать в отработку запасы глубоких горизонтов, выемка которых сопровождается, как правило, ростом горного давления, раскрывающегося в форме толчков, микроударов и горных ударов [1–6]. На предприятиях Горной Шории — Таштагольском и Шерегешском рудниках — зарегистрировано более 30 тысяч геодинамических явлений с максимальной сейсмической энергией $10^8 - 10^9$ Дж, которые характеризуют геомеханическую обстановку на месторождениях как весьма сложную.

В связи с этим решение проблем оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) горнотехнических объектов, диагностики массива пород, а также прогнозирование участков возникновения и энергии горных ударов представляется не только своевременным, но и необходимым для контроля оперативного изменения параметров добычных работ, обеспечивающих высокую безопасность эксплуатации месторождений.

Nº 1

Работа выполнена в рамках проекта НИР (№ гос. регистрации 121051900145).

Перспективным подходом к диагностике и контролю разрушения рудопородного массива является региональный микросейсмический метод, базирующийся на регистрации сейсмических событий [7–10]. Развитие его как средства исследования связано с интерпретацией геомеханической и геофизической информации о состоянии массива пород.

Закономерности распределения геодинамических явлений в условиях постоянно меняющегося НДС массива пород, обнаружение удароопасных зон в границах шахтного поля при отработке технологических блоков и обособленных рудных тел на месторождениях Горной Шории все еще остаются недостаточно изученными.

В Горной Шории разрабатываются крупные Таштагольское и Шерегешевское железорудные месторождения, которые расположены в районах тектонических блоков различного иерархического уровня и региональных разломов [11, 12]. Основными рудными участками на Таштагольском месторождении являются: Северо-Западный, Восточный и Юго-Восточный. На участке Западном проводятся горно-капитальные и подготовительные работы. Основным минералом, слагающим рудные залежи, служит магнетит, в небольшом количестве присутствуют хлорит и кальцит, а также другие минералы. Прочность рудопородного массива на одноосное сжатие 60-150 МПа. В геоморфологическом плане месторождение образует рудную зону северо-западного простирания длиной до 800 м. Мощность рудных тел 15-60 м и более, угол падения залежей достигает $70-90^\circ$. В качестве вмещающих пород выступают сиениты, скарны и порфириты [13, 14].

На Шерегешевском месторождении рудные залежи имеют изометрическую форму с большим объемом и хаотическим распределением прослоев и включений пустых пород, а также извилистые контакты руда – порода. Геологические параметры рудных зон составляют: длина по простиранию до 500 м, длина по падению до 700 м, мощность залежей изменяется от 15 до 180 м, угол падения — от пологого 15° до вертикального 90°. Руды месторождения скарново-магнетитового типа с содержанием железа 31–45 % при среднем значении 35.5 %.

ТЕХНОЛОГИЯ ВЕДЕНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ

Основные системы разработки при добыче железных руд на Таштагольском и Шерегешевском месторождениях представлены вариантами этажного блокового принудительного обрушения, подэтажного обрушения без и с закладкой выработанного пространства и этажнокамерной технологией. На рис. 1 представлен один из вариантов технологии подэтажного обрушения с выпуском руды через плоское днище.



Рис. 1. Система подэтажного блокового обрушения: 1 — потолочина; 2 — буровой орт; 3 — ограждающий рудный целик; 4 — погрузочные заезды; 5 — отрезной восстающий; 6 — транспортный орт

Залежи при геотехнологиях с обрушением руды и выпуском ее с налегающими вмещающими породами, как правило, делятся на этажи (подэтажи) высотой 20-70 м, которые разбиваются на панели шириной 13.5-27.0 м. Выпуск, погрузка и доставка отбитой горной массы осуществляется виброустановками ВДПУ-4TМ и самоходными погрузочно-доставочными машинами типа ПДМ. Секции и слои в очистных панелях обрушаются на компенсационные (отрезные) камеры, а также на зажатую среду одиночными, параллельно-сближенными вертикальными и горизонтальными скважинными зарядами диаметром 105-160 мм, а также веерами скважин диаметром 89 мм. Удельный расход взрывчатых веществ (ВВ) при отбойке основных запасов эксплуатационных блоков изменяется в зависимости от крепости пород и равен 0.22-0.78 кг/т. Потери и разубоживание руды при выпуске составляют для технологий этажно-камерной и подэтажного обрушения без и с закладкой выработанного пространства соответственно 2-12-3.2% и 7.5-13.0-21.4%.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ УДАРООПАСНОСТИ МАССИВА ПОРОД МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Параметры сейсмической активности шахтных полей оценивались путем регистрации сейсмических событий, их координат и энергии, зон аномальной сейсмической активности на базе сейсмостанции "Шерегеш" (рис. 2). Региональный метод контроля удароопасности базируется на разработке карт сейсмической активности с последующим наложением на них планов горных работ — действующих горных выработок, а также капитальных, подготовительных и очистных забоев. При этом используются показатели сейсмической энергии за установленный интервал времени. Оценка удароопасности участков шахтного поля основана на определении параметра N — числа отобранных событий в породном блоке и величины D, характеризующей высвобожденную энергию сейсмических событий, которая рассчитана с учетом тангенса угла α наклона диаграммы дислокации числа событий по энергии β = tg α .



Рис. 2. Расположение сейсмодатчиков в шахте: • — датчики

Показатель удароопасности F находится по формуле

$$F = \frac{N+D}{\beta} \; .$$

Значение параметра D на момент времени t вычисляется по значениям энергии E_i и времени возникновения t_i событий:

$$D = \sum_{i} \sqrt{\frac{E_{ii}}{E_k}}, \quad E_{ii} = E_i \left(1 - \frac{t - t_i}{T} \right) e^{-0.1(t - t_i)},$$

здесь T — период времени фиксации перед моментом ожидания. В расчете D величина E_{ii} соответствует текущей энергии событий с учетом ее релаксации во времени по экспоненциальному закону. Значение показателя β устанавливается графоаналитическим методом из диаграммы распределения событий, E_k — энергия наиболее повторяющихся событий.

Распределение сейсмических событий строится в билогарифмическом масштабе. По оси абсцисс откладывается энергия сейсмических событий по классам, по оси ординат — количество событий в классе. Диапазон энергий 150 – 10 000 Дж, шаг класса — 1.2. При вычислениях E_{ii} для учета временного фактора энергия каждого события пересчитывается по формуле

$$E_{ti} = E_i \left(1 - \frac{t}{30} \right) e^{-0.1t},$$

где *t* — количество дней после произошедшего события с энергией *E_i* до даты определения сейсмической активности.

Для мониторинга удароопасных зон с повышенной сейсмоактивностью применяется параметр *F* и значения энергии зарегистрированных событий. Оценка геодинамических явлений осуществляется по следующим критериям:

• рейтинг 1 (предварительный) — за 30 сут в блоке ($50 \times 50 \times 50$ м) отсутствие сейсмических явлений, показатель F < 25;

• рейтинг 2 — показатель *F* изменяется от 25 до 200, а также при условии регистрации сейсмических событий с энергией *E* > 10 000 Дж;

• рейтинг 3 — показатель F изменяется от 200 до 400, а также при условии регистрации динамических событий с энергией $E > 15\,000$ Дж;

• рейтинг 4 — показатель *F* принимает значение более 400, а также при условии регистрации сейсмических событий с энергией *E* > 30 000 Дж.

Диапазон значений показателей критериев создает благоприятные предпосылки ранжированного подхода к анализу динамических явлений и обусловливает рост точности прогнозирования удароопасных зон и центров напряженных (сейсмоактивных) областей в границах рудных полей. Рейтинги 1 и 2 характеризуются соответственно как "неопасно", а 3 и 4 — "опасно".

Атлас сейсмической активности формируется в прикладной программе для ПК VinGitsADO с использованием каталогов сейсмических событий и GIS приложений Surfer, Voxler (для 3D моделирования).

ПРОГНОЗ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ШАХТНОМ ПОЛЕ ПРИ ОБРУШЕНИИ БЛОКОВ

Закономерности проявления горного давления в форме динамических или статических явлений обусловлены и зависят главным образом от параметров взрывных работ и зон концентраций напряжений вокруг различного рода обнажений и пролетов очистных пространств [2].

На примере производства взрывных работ по блокам участков Восточный, Северо-Западный, а также Подрусловый, Главный и Новый Шерегеш соответственно Таштагольского и Шерегешевского месторождений определена энергия взрывов и толчков, которая изменялась от 10 до 10⁹ Дж, при этом масса ВВ составляла 3–100 т и более, интервалы замедлений 0–800 мс.

Установлены закономерности распределения толчков во вмещающем массиве в районе очистных пространств Восточного участка, где зафиксированы максимальные значения энергетического класса K=3-5 за период после взрыва 4-180 ч, в северной части месторождения — 3-175 ч, в южной — 3-155 ч (рис. 3, 4).



Рис. 3. Эволюция энергетического класса динамических событий *К* после производства массовых взрывов на Таштагольском месторождении (участок Восточный)

В границах влияния Юго-Восточного участка месторождения изменение *K* от 2 до 3–4 фиксировалось 3 раза в интервале 2–147 ч. На Шерегешевском месторождении (участки Подрусловый и Новый Шерегеш) сейсмическая энергия массовых взрывов ВВ составляла 8.08·10⁴-3.6·10⁵Дж, при этом происходили существенные толчки.



Рис. 4. Изменение сейсмической энергии взрывов и толчков в районе участка Подрусловый после технологических взрывов (1 — июль, 2 — август): а — 06.07.14, бл. № 7, $E=8,08\cdot10^4$ Дж; б — 13.07.14, бл. № 7, $E=2.11\cdot10^5$ Дж; в — 17.07.14, бл. № 7, $E=1,72\cdot10^5$ Дж; г — 24.07.14, бл. № 7, $E=3.6\cdot10^5$ Дж; д — 29.07.14, бл. № 7, $E=9.1\cdot10^4$ Дж; е — 31.07.14, бл. № 7, $E=5.91\cdot10^4$ Дж; ж — 01.08.14, бл. № 1-4-120, $E=1.2\cdot10^5$ Дж; к — 05.08.14, бл. № 1-4-120, $E=1.4\cdot10^5$ Дж; л — 07.08.14, бл. № 1-4-120, $E=3.9\cdot10^5$ Дж; м — 16.08.14, бл. № 24, $E=4.8\cdot10^4$ Дж; н — 19.08.14, бл. № 24, $E=4.25\cdot10^4$ Дж; о — 24.08.14, бл. № 7, $E=1.2\cdot10^5$ Дж; л — 07.08.14, ОПИ-1, $E=1.32\cdot10^5$ Дж; р — 29.08.14, бл. № 7, $E=1.2\cdot10^4$ Дж

Выявлено воздействие выемки блоков на распределение повышенного горного давления по горизонтам выпуска и доставки руды. При отработке запасов в днище выработанного пространства формируется зона опорного давления (ЗОД) как по простиранию, так и по падению Таштагольского месторождения. Данная зона устанавливалась посредством комбинации различных методов оценки геомеханического состояния горных пород: микросейсмического, электрометрического, а также кернового бурения. При отбойке блоков в этажах (-210) - (-70) м ЗОД располагалась на расстояния 30 - 50 (60) м от выработанного пространства. С понижением очистной выемки до горизонта -350 м и достаточным разрастанием фронта добычи по простиранию рудного тела (более 100 м) ЗОД сместилась от погашенных камер на 15 - 25 м.

ОЦЕНКА ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОБРУШЕНИИ БЛОКА № 5 ВОСТОЧНОЙ И ЗАПАДНОЙ СЕКЦИЙ

По результатам представленных исследований и полученных при этом закономерностей изменения энергетического класса толчков и их распределения во времени, а также определения местоположения очагов взрывов и толчков, их энергии, массы ВВ по интервалам замедлений, критериев выделения удароопасных зон с построением карт сейсмической активности и участков возможных нарушений в горных выработках выполнен прогноз геодинамических явлений с выявлением их типов при выемке запасов руды на рабочих участках Таштагольского месторождения при обрушении блока № 5. Массовый взрыв по блоку № 5 восточной секции в этаже (−280)−(−210) м произведен 21.07.2019 г. Восточная секция блока граничит с вмещающими породами, с западной стороны — с массивом западной секции блока № 6, с северной стороны — с массивом блока № 4 (рис. 5).



Рис. 5. Схема расположения бурового горизонта в блоке № 5: *1* — пучки сближенных скважин; *2* — компенсационная камера; *3* — зажимающая среда

Блок № 5 расположен в центральной части рудного тела № 1 Восточного участка. Рудная залежь в границах выемочной единицы разбита породными включениями на две крутопадающие линзы, перекрытые дайками. Вмещающими породами выделенного участка являются скарны, сиениты и сланцы. Крепость их по М. М. Протодьяконову составляет 14–18. Рудное тело в пределах блока пересечено пологим тектоническим нарушением мощностью 1–3 м. Параметры блока № 5 восточной секции имеют следующие значения: длина секции 43–47 м, ширина 27 м, высота секции и компенсационной камеры 50 м. Ниже приведены основные технологические показатели по блоку № 5 восточной секции:

Руда, тыс. т	254.20
Содержание железа в руде, %	53.80
Объемный вес, т/м ³	4.164
Балансовые запасы, тыс. т	262.10
Содержание железа в балансовых запасах, тыс. т	52.40
Объемный вес, т/м ³	4.12
Разубоживающая порода, тыс. т	15.60
Содержание железа в разубоживающей породе, %	8.00
Объемный вес разубоживающей породы, т/м ³	2.72
Рудная масса, тыс. т	277.70
Содержание железа в рудной массе, %	49.90
Содержание серы в руде, %	0.03

Отработка блока № 5 проводится двумя секциями. Основной массив восточной секции отбивается с помощью нисходящих, восходящих и горизонтальных сближенных скважин, а также камерными зарядами на компенсационные камеры и зажимающую среду. Подсечка осуществляется разворотами.

В качестве ВВ при производстве массового взрыва используются: аммонит № 6ЖВ; граммонит М-21; эмульсолит — П; а также средства взрывания: ДШМ-Э, ДШЭ-12, ЭД-1-8-Т, НСИ. Количество скважин колеблется от 5 до 20, масса зарядов ВВ 199 т, удельный расход ВВ 0.717 кг/т. Массовый взрыв осуществлен с 17 интервалами замедлений 50-800 мс. Максимальная масса заряда ВВ приходилась на замедления 225-350 мс (14.874-17.904 т).

В процессе проведения откаточного орта № 5 наблюдалась высокая частота геодинамических явлений в кровле и бортах выработки. Объемы вывалов достигали 10 м³. Многократно (3 раза в 2017 г. и 2 раза в 2018 г.) при проведении камер под ВДПУ-4ТМ горные работы приостанавливались по причине наличия признаков повышенного горного давления и признаков удароопасности. В районе горизонта выпуска в течение 5 лет зарегистрировано около 700 толчков с энергией $10^3 - 10^6$ Дж, причем блок № 5 находился в зоне опорного давления от очистного пространства блока № 6 в этаже (-280)-(-210) м. Таким образом, при обрушении восточной секции блока № 5 прогнозировались геодинамические явления класса 4-6, интенсивное заколообразование, обрушение горных пород.

При отбойке блока с массой заряда ВВ 135.7 т сейсмическая энергия взрыва составила 3.22·10⁷ Дж, магнитуда 2.94 (3.3–3.9). После производства взрывных работ через 1.5 мин зарегистрированы толчки энергетического класса 1–6. На дневной поверхности ощущался толчок, эквивалентный по мощности массовому взрыву.

Исследования методом электрометрии показали, что электрометрический коэффициент K_{ρ} после взрыва по доставочным штрекам на гор. – 280 м снизился до 0.5, массив пригружен однако через несколько суток он увеличился до 0.7 и более — массив разгружен. При визуальном осмотре горных выработок выявлены нарушения крепи в блоке № 05-3 БДО-1-270 и полевом штреке гор. – 280 м. На атласе динамических явлений по плотности событий выделялись три аномалии, одна из которых сформировалась в северной области Восточного участка.

Удароопасность рудопородного массива после проведения массового взрыва определялась параметром K_y [15]. При значении $K_y = 6.6 \cdot 10^{-5}$ наблюдалась локализация концентрации напряжений в массиве в районе выработок с проявлением толчков, стреляния и интенсивного заколообразования горных пород.

Западная секция блока граничит с обрушением восточной секции блока № 5, с западной стороны — с вмещающими породами, с южной — с обрушением блока № 6, с северной — с массивом блока № 4. Западная секция отрабатывалась после восточной секции блока № 5 (рис. 6).



Рис. 6. Схема расположения западной секции блока № 5: *а*, *в* — соответственно вкрест и по простиранию рудного тела; *б* — буровой горизонт; *1* — зажимающая среда; *2* — пучки сближенных скважин

Рудное тело в пределах западной секции блока № 5 разделено породными прослоями на две крутопадающие линзы. Руда магнетитовая темно-серого цвета, крепостью по М. М. Протодьяконову 14–16. Рудное тело в пределах блока разделено локальными тектоническими нарушениями мощностью 1–3 м. Технологические показатели по блоку № 5 западной секции приведены ниже:

Руда, тыс. т.	236.300
Содержание железа в руде, %	51.700
Объемный вес, т/м ³	4.088
Балансовые запасы в контурах выемки, тыс. т	251.700
Содержание железа в балансовых запасах в контурах выемки, %	49.000
Не отбиваемые запасы балансовой руды за пределами	3.800
выемочного контура блока, тыс. т	
Всего балансовых запасов, тыс. т	255.500
Разубоживающая порода, тыс. т	13.600
Содержание железа в разубоживающей породе, %	8.100
Объемный вес разубоживающей породы, т/м ³	2.722
Рудная масса в контурах выемки, тыс. т	265.3
Содержание железа в рудной массе, %	46.000
Объемный вес рудной массы, т/м ³	3.909

За пятилетний период эксплуатации месторождения при проведении выработок в районе блока № 5 происходили толчки (энергия $10^3 - 10^6$ Дж), регистрировалась категория "опасно", при этом наблюдались обрушение горных пород и стреляние в орте № 5.

Обуривание и отбойка западной секции осуществлялись нисходящими, восходящими и горизонтальными сближенными скважинами, а также камерными зарядами ВВ на компенсационные камеры и зажимающую среду блока № 6. Подсечка блока — разворотами. Взрыв массой ВВ 169 т произведен с 16 интервалами замедлений от 50 до 600 мс.

После массового взрыва по обрушению Западной секции блока № 5 в этаже (-280)-(-210) м на Восточном участке за сутки зарегистрировано 165 толчков в массиве горных пород, прилегающем к блоку № 5, из них 7 толчков с энергетическим классом более 4. В ходе осмотра горных выработок обнаружено поднятие железнодорожного пути в орте № 5 на гор. (-280) м на 30-40 см на протяжении 36 м, образование сколов в железобетонном креплении в ортах № 5, 8.

При обрушении секции блока № 5 магнитуда колебалась в пределах 3.3–3.9 (3.6) (по данным Алтае-Саянского филиала геофизической службы СО РАН) и 2.9 (расчет по данным сейсмостанции "Таштагол", сейсморегистратор "Байкал"). После взрыва отмечены толчки в шахтном поле с максимальной энергией 10⁵–10⁶ Дж (рис. 7). Через неделю после взрыва зарегистрирован толчок энергического класса 4.8.



Рис. 7. Зоны удароопасности в соответствии со значениями параметра *F* при обрушении западной секции блока № 5 (через 30 дней после взрыва 22.02 – 23.03.2020)

Массив горных пород после взрыва западной секции блока № 5 находился в разгруженном состоянии (рис. 8). Уровень напряженного состояния $\sigma/[\sigma] = 0.4 - 0.6$, кроме гор. –210 м, где он достигал уровня 0.8, что подтверждалось регистрируемыми толчками.



Рис. 8. Изменение электрометрического коэффициента K_{ρ} на гор. – 140 м Северо-западного штрека (Q — масса BB)

Мониторингом и регистрацией параметров сейсмических колебаний дневной поверхности от массового взрыва установлено, что максимальная скорость сейсмических колебаний составила 0.3 см/с в горизонтальном направлении от массового взрыва, что в 7 раз ниже предельно допустимого значения, равного 2 см/с.

выводы

Предложены критерии ударооопасности массива горных пород для прогноза геодинамических явлений при использовании микросейсмического метода. Для сейсмоактивного региона Горной Шории установлены параметры удароопасности рудопородного массива, обусловленные количеством и закономерностями распределения динамических явлений, а также энергией сейсмических событий, которые классифицируют массив горных пород как "неопасный" и "опасный".

Количественное разделение показателя удароопасности по четырем уровням обеспечивает ранжированный подход к оценке вероятных форм проявления динамических событий и позволяет гибко изменять параметры горных работ в целях предупреждения динамических явлений и сведения к минимуму их негативных последствий.

Установлены критерии выделения удароопасных зон по количеству сейсмических событий. Дано обоснование, разработана и прошла промышленные испытания методика прогнозирования геодинамических явлений при широком освоении технологий с обрушением руды и вмещающих пород. Прогноз осуществляется по данным горно-геологической обстановки, закономерностей распределения геодинамических явлений в массиве горных пород, местоположения очагов взрывов и толчков, их энергии, по массе ВВ и интервалам замедления взрывания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Курленя М. В., Еременко В. А., Гайдин А. П. Развитие сырьевой базы Западно-Сибирского металлургического комплекса // Горн. журн. 2007. № 4. С. 10–13.
- **2. Еременко А. А., Гайдин А. П., Еременко В. А.** Отработка технологических блоков при массовом обрушении руд в условиях напряженно-деформированного состояния горных пород. Новосибирск: Наука, 2002. 112 с.
- **3.** Galchenko Y. P. and Eremenko V. A. Model representation of anthropogenically modified subsoil as a new object in lithosphere, Eurasian Mining, 2019, No. 2. P. 3–8.
- **4.** Сидоров Д. В. Геомеханическое обоснование конструктивных параметров камерно-столбовой системы разработки для проектирования глубоких горизонтов СЦБРИ // Зап. Горного института. 2012. Т. 199. С. 134–140.
- 5. Еременко В. А., Галченко Ю. П., Мясков А. В., Козырева М. А. Исследование напряженного состояния массива при использовании конвергентной горной технологии // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2019. — Т. 6. — № 2. — С. 78–85.
- 6. Eremenko A. A. Blast desighbor improved performance and reduced surfacevibration a case itudy, 8th Int. Conf. ou Deer and High Stressmining, Deep. 2017, J. Wesselodad Australian Centre Geomechan ics, Perth., 2017. P. 961–974.
- **7. Указания** по безопасному ведению горных работ на месторождениях Горной Шории, склонных и опасных по горным ударам. Новосибирск; Новокузнецк, 2015. 73 с.

- 8. Еманов А. Ф., Еманов А. А., Фатеев А. В., Лескова Е. В., Шевкунова Е. В., Подкорытова В. Г. Техногенная сейсмичность разрезов Кузбасса (Бачатское землетрясение 18 июня 2013 г.) // ФТПРПИ. — 2014. — № 2. — С. 41–46.
- **9.** Барышников В. Д., Барышников Д. В., Гахова Л. Н., Качальский В. Г. Геомеханический мониторинг при разработке полезных ископаемых // ФТПРПИ. 2014. № 5. С. 61–73.
- 10. Беспалько А. А., Хорсов Н. Н. Аппаратурный комплекс для исследования НДС горных пород в шахтах // Тр. междунар. конф.: Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. Новосибирск: ИГД СО РАН, 2004. — С. 210–213.
- **11. Кузнецов В. А.** Основные этапы геотектонического развития юга Алтае-Саянской горной области // Тр. горно-геол. ин-та Зап.-Сиб. фил-ла АН СССР. 1952. Вып. 12. С. 6–68.
- **12. Железорудные** месторождения Сибири / А. С. Калугин, С. Т. Калугина, В. И. Иванов и др. Новосибирск: Наука, 1981. 238 с.
- Eremenko A. A., Koltyshev V. N., Eremenko V. A., and Shtirtz V. A. Seismic hazard assessment and abatement geotechnology for safe iron ore mining in west Siberia, Sth Int. Symposium on Rockburst and Seismicity in Mines (RaSim 8). — Geophysical Survey of Russian Academy of Sci., Obninsk; Mining of Ural Branch of Russian of Sciences, Perm., 2013. — P. 434–445.
- **14.** Студеникин В. П. Разрывные нарушения Кузнецкого Алатау // Вопросы тектоники Алтае-Саянской горной области: материалы науч.-техн. конф.). — Новокузнецк, 1971. — С. 107–114.
- **15.** Шрепп Б. В., Мозолев А. В., Гайдин П. Т. и др. Оценка эффективности элементов ударобезопасной технологии на Таштагольском руднике // Горн. журн. 1989. № 12. С. 43–46.
- 16. Еременко А. А., Гайдин А. П., Ваганова В. А., Еременко В. А. Особенности развития деформационных процессов в массиве горных пород при проведении промышленных взрывов на удароопасном месторождении // ФТПРПИ. 1999. № 6. С. 44–47.

Поступила в редакцию 05/VII 2021 После доработки 20/XI 2021 Принята к публикации 24/XII 2021