

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

Научная статья

УДК 622.831

DOI: 10.26730/1999-4125-2026-1-125-137

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МАССОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД И ПОКАЗАТЕЛИ ОТБОЙКИ

Волков Андрей Викторович<sup>1</sup>, Еременко Андрей Андреевич<sup>2</sup>,  
Копытов Александр Иванович<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ООО «Глобал БВР»

<sup>2</sup> Институт горного дела имени Н. А. Чинакала СО РАН

<sup>3</sup> Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

\* для корреспонденции: eremenkoa1949@yandex.ru



### Информация о статье

Поступила:

15 декабря 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 января 2026 г.

Принята к публикации:

12 февраля 2026 г.

Опубликована:

19 марта 2026 г.

### Ключевые слова:

горная порода, взрыв, толчок, сейсмическая энергия, месторождение, рудные участки, система разработки, выход негабарита

### Аннотация.

Рассмотрена техногенная сейсмическая активность, сопровождающая разработку железорудных удароопасных месторождений в Горной Шории, включающая взрывные работы. После массовых технологических взрывов регистрируются геодинамические явления различной интенсивности. Дана оценка воздействия взрывных работ на энергетический класс взрывов, толчков и магнитуду событий при отработке блоков системами без и с закладкой очистного пространства. Методом математического моделирования установлено напряженно-деформированное состояние массива в районе блоков (камер). Установлено, что зоны неупругих деформаций формируются в целиках между камерами, в уступах отработанных камер, а также вдоль буродоставочных ортов и штреков. При отработке рудных запасов в течение года происходит перераспределение субгоризонтальных и субвертикальных напряжений в массиве горных пород. Выявлено влияние массы зарядов ВВ на магнитуду, энергетический класс взрывов и толчков, а также формирование зон сейсмической активности в шахтном поле. При отработке рудных запасов системой поэтажного обрушения на подэтажах с горизонта (гор.) –55 до гор. –340 м Западного, Северо-Западного и Восточного участков, где объем проходческих работ подготовительных выработок составил более 1200 м, а нарезных выработок – 41336 м, при объеме добычи сырой руды 1700 тыс. т. Объем добычи при системе разработки этажного принудительного обрушения с отбойкой руды на компенсационные камеры и зажимающую среду составил более 370 тыс. т на блоки. В процессе ведения очистных работ состояние массива оценивалось магнитудой по формулам, предложенным ВНИМИ, ИГД СО РАН и Кемеровской сейсмостанцией. Выявлен безопасный уровень магнитуды при взрывании зарядов с различной массой взрывчатого вещества в пределах от 0,3 до 16,0 т. Корректировка параметров буровзрывных работ позволила снизить потери и разубоживание на 2%.

**Для цитирования:** Волков А.В., Еременко А.А., Копытов А.И. Оценка влияния массовых технологических взрывов на геодинамическое состояние массива горных пород и показатели отбойки // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2026. № 1 (173). С. 125-137. DOI: 10.26730/1999-4125-2026-1-125-137, EDN: PLTNWG

### Введение

На современном этапе развития горнодобывающей промышленности буровзрывные работы должны гарантировать дробление пород с получением кусков горной массы заданных размеров с минимальным сейсмическим воздействием на вмещающую геологическую среду [1-4]. При переходе горных работ на глубины 1000 м и более эксплуатация Таштагольского и Шерегешевского рудных месторождений в Горной Шории резко ухудшается ввиду проявления горного давления в динамической форме и сейсмического воздействия на дневную поверхность [5, 6]. После массовых технологических взрывов наблюдаются геодинамические явления различной интенсивности [7-9], что свидетельствует о том, что возможно посредством направленного использования энергии взрывов оказывать влияние на дробление руды и управление выделенной энергией геодинамических явлений [10-13].

В связи с этим возникла необходимость обобщить результаты исследований, опыта промышленных испытаний параметров взрывной отбойки при различных системах разработки, а также дать оценку воздействия взрывных работ на интенсивность сейсмических и геодинамических явлений.

### Краткие горнотехническая, геологическая и геомеханическая характеристика Таштагольского и Шерегешевского месторождений

Железорудные месторождения Горной Шории разрабатываются в сложных горно-геологических и геомеханических условиях в Алтае-Саянской складчатой области сейсмоактивного региона [14]. На Таштагольском месторождении выделены четыре участка: Восточный, Северо-Западный,

Западный и Юго-Восточный (ВУ, СЗУ, ЗУ, ЮВУ), а также разведан участок Глубокий. Суммарно запасы руды составляют более 700 млн т, при этом рудные тела и породы пересекаются крупными тектоническими разломами и сопровождаются зонами смятия, наличием жил и даек (рис. 1) [15].

На Шерегешевском месторождении горные работы осуществляются на четырех рудных участках: Болотный, Главный, Новый Шерегеш, Подрусловый (БУ, ГУ, Н.-ШУ, ПУ), на глубине более 800 м. Суммарные запасы руды на участках более 140 млн т. Тектонические нарушения на месторождении выражены разломами, трещинами и зонами дробления.

Быстрый рост глубины разработки на подземных рудниках сопровождается увеличением напряжений в массиве, горными ударами с усложнением ведения очистных работ. В связи с наличием пород, склонных к хрупкому разрушению, проявлениям горного давления в динамической форме и т.п. Таштагольское и Шерегешевское месторождения отнесены к опасным по горным ударам [15].

### Геотехнология добычи руды

С усложнением горно-геологических и геомеханических условий с увеличением глубины горных работ с 300 до 800 м и более на месторождениях широкое применение получила система разработки этажного принудительного обрушения руды и вмещающих пород, при которой был снижен объем подготовительно-нарезных работ, на участках Восточный, Юго-Восточный, Главный и Болотный. При этой системе разработки панели располагались в крест простирания рудного тела шириной 20-27 м, руда обрушалась на всю высоту этажа равную 70-80 м одиночными и пучковыми сближенными зарядами ВВ с сеткой 4,5-7,0 м на компенсационные камеры различной формы

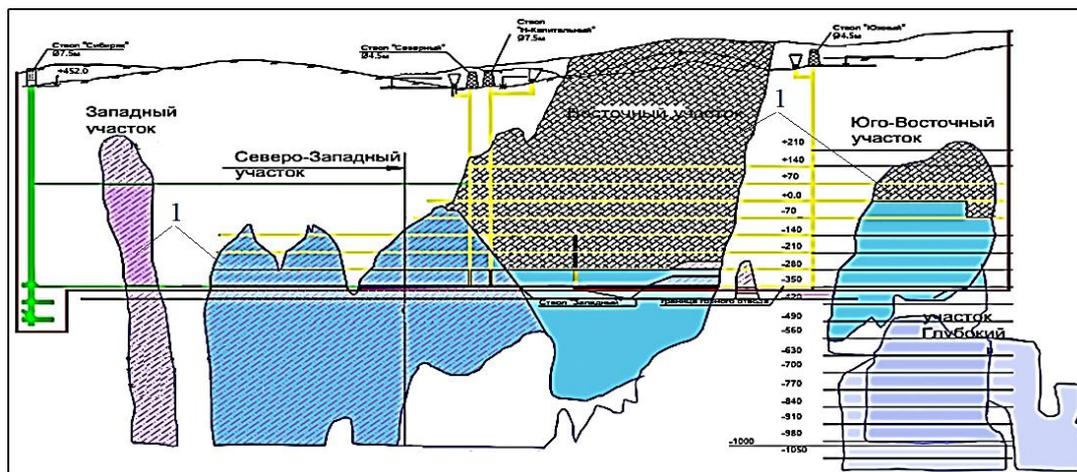


Рис. 1. Схема вскрытия Таштагольского месторождения +210 ÷ -1050 м – глубинные отметки; Ø – диаметр, м; 1 – отработанные рудные запасы

Fig. 1. Tashtagolskoye Field Penetration Diagram +210 ÷ -1050 m - Depth Elevations; Ø - diameter, m; 1 - used ore reserves

(рис. 2). Подсечки в блоках траншейная и плоская. Выпуск горной массы производился виброустановками ВДПУ-4ТМ и скреперами в транспортные средства.

С понижением очистных работ и вводом в эксплуатацию новых рудных участков и целиков Северо-Западного, Западного, Новый Шерегеш и Подруслового с образованием постепенно перемещающегося опорного слоя в днище выработанных пространств, осуществлен переход на камерную систему разработки и подэтажного обрушения.

Общий порядок отработки подэтажей – нисходящий (рис. 3). Линия фронта очистных работ верхнего подэтажа опережает нижний подэтаж на расстояние не менее чем на длину, равную высоте одного подэтажа. Порядок отработки запасов руды в подэтажах – сплошной. Конструктивные элементы и параметры варианта включают: высота подэтажа – 25 – 30 м; расстояние между выпускными выработками – 14 м; ширина очистной заходки – 14 м; Высота очистной заходки – 32 м; толщина отбиваемого слоя – 5,2 м; длина очистной

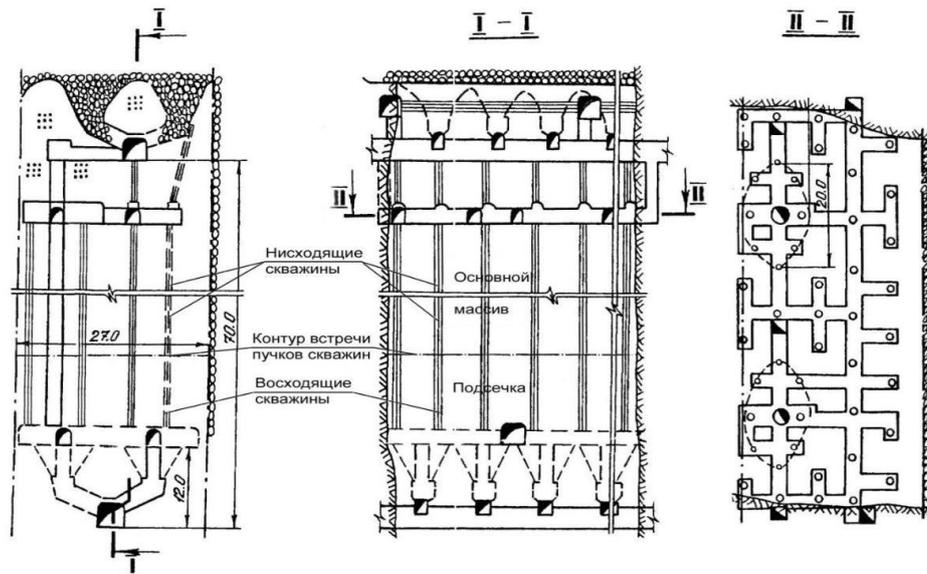


Рис. 2. Система разработки этажного принудительного обрушения  
Fig. 2. Floor forced collapse development system

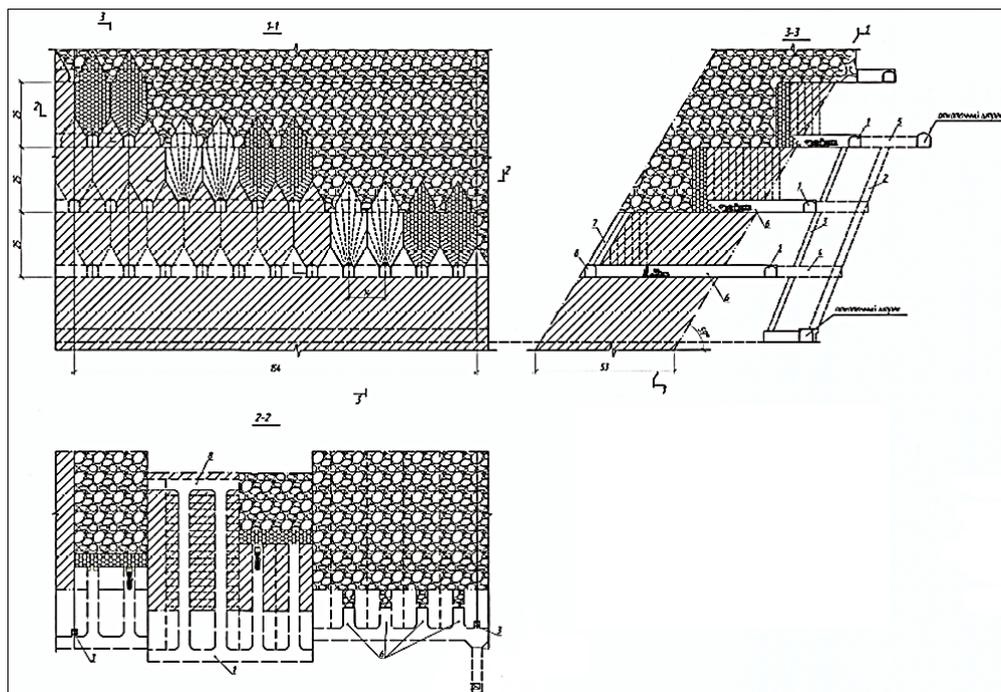


Рис. 3. Система разработки подэтажного обрушения с торцовым выпуском руды  
Fig. 3. Sub-floor collapse mining system with end ore discharge

заходки – равно мощности рудного тела (более 20 м); длина блока по простиранию – 154 м (принята из условий рационального использования погрузочно-доставочных машин на выпуске руды).

#### Отработка блоков в условиях геодинамического состояния массива горных пород

Рассмотрено влияние отработки блоков №№ 1-17, 05-3 и др. на Восточном и Северо-Западном участках на геодинамическое состояние массива горных пород (рис. 4, 5).

На Шерегешевском месторождении отработывали блоки №№ 1-6 на участках Новый Шерегеш, Главный и Болотный в этажах (+115) -

(+215) м.

Методом математического моделирования выполнена оценка по определению влияния НДС блока №1-17 Северо-Западного участка горизонта -270 м в период января – апреля 2024 г. Исходное напряженное состояние массива на отм. - 270 м:  $\sigma_y^0 = -52,5$  МПа,  $\sigma_x^0 = -33,6$  МПа. При отработке запасов камеры в блоке К 270-3 в зонах концентрации субгоризонтальных напряжений в угловых частях приконтурного массива К 270-5, К 270-1, а также в целике между К 270-3 и 270-7  $\sigma_x$  достигает  $-70 \div -80$  МПа (рис. 6а). Целик между К 270-3 и К 270-6 разгружен от  $\sigma_x$ . Субвертикальные напряжения в зонах концентрации в юго-восточных угловых

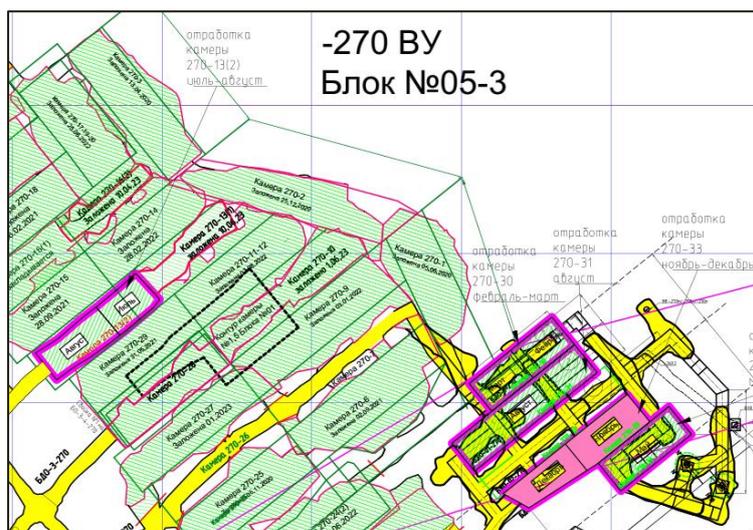


Рис. 4. Схема отработки запасов Блока № 1-17 горизонта -270 м Восточного участка  
Fig. 4. Development Plan for Reserves of Block No. 1-17 of Horizon -270 m in the Eastern Section

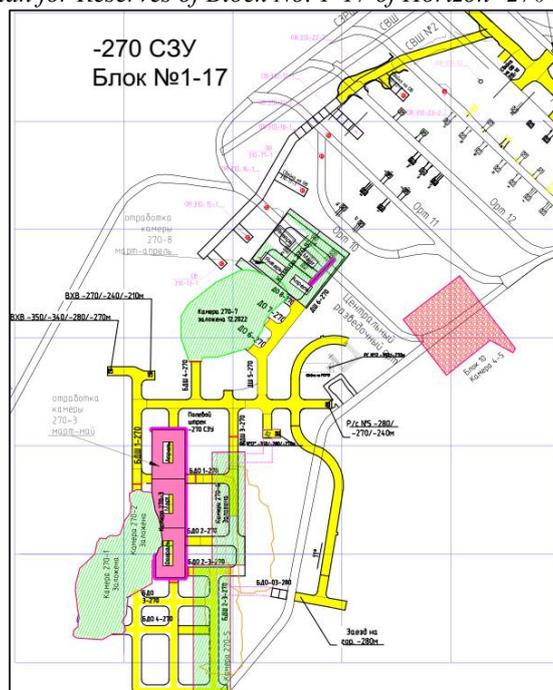


Рис. 5. Схема отработки запасов Блока № 1-17 горизонта -270 м Северо-Западного участка  
Fig. 5. Development Plan for Reserves of Block No. 1-17 of Horizon -270 m of the North-West Section

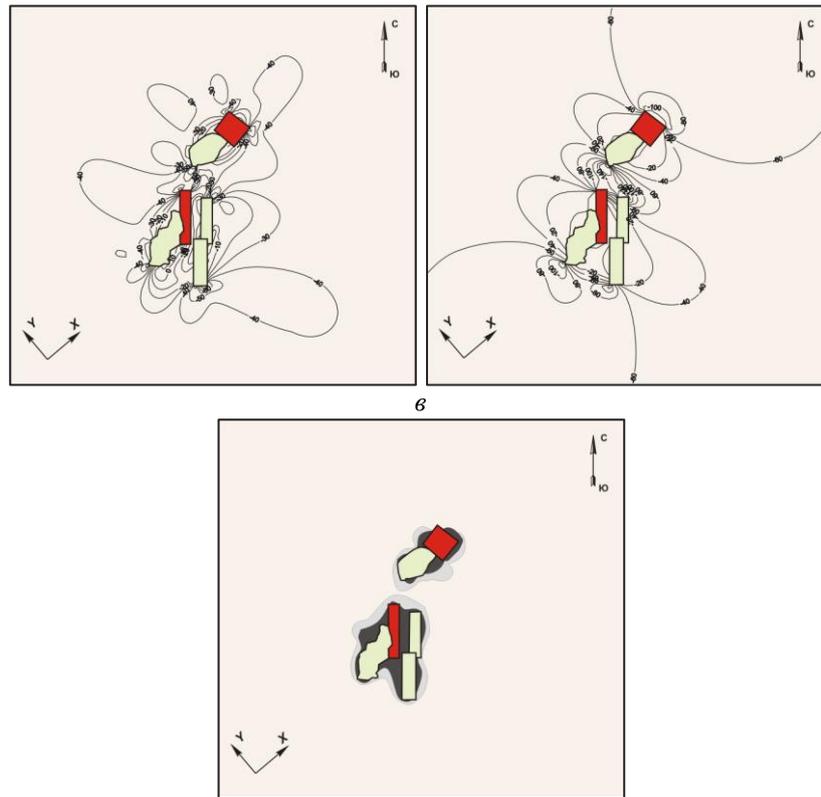


Рис. 6. Субгоризонтальные  $\sigma_x$  (а), субвертикальные  $\sigma_y$  (б) напряжения (МПа) и зоны неупругих деформаций (в) в районе блока № 1-17 горизонта -270 м Северо-Западного участка в I квартале 2024 г.

Fig. 6. Subhorizontal  $\sigma_x$  (a), subvertical  $\sigma_y$  (b) stresses (MPa) and zones of inelastic deformations (c) in the area of block No. 1-17 of horizon -270 m of the North-Western section in the first quarter of 2024

Зоны неупругих деформаций в крепких породах формируются в целике между камерами, в уступах, отработанных камер, а также вдоль северного торца К 270-8 (рис. 7). В зоны неупругих деформаций попадают БДО 1-270 – БДО 3 - 270 и частично БДШ 1 – 270.

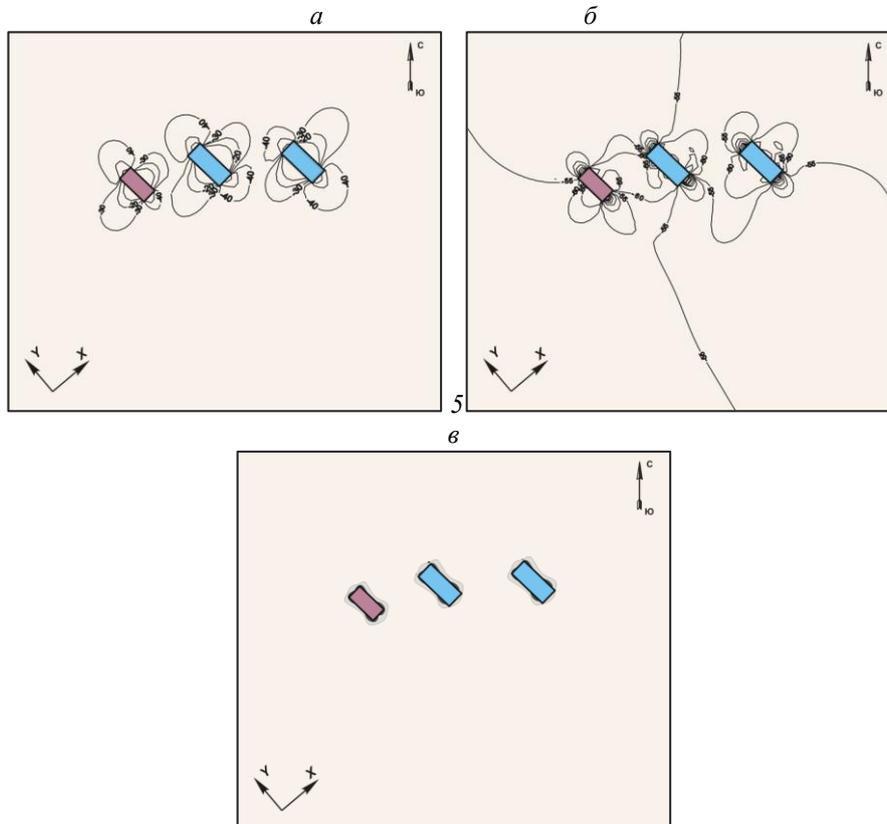


Рис. 7. Субгоризонтальные  $\sigma_x$  (а), субвертикальные  $\sigma_y$  (б) напряжения (МПа) и зоны неупругих деформаций (в) в районе блока № 1-17 горизонта -310 м Северо-Западного участка в III квартале 2024 г.

Fig. 7. Subhorizontal  $\sigma_x$  (a), subvertical  $\sigma_y$  (b) stresses (MPa) and zones of inelastic deformations (c) in the area of block No. 1-17 of horizon -310 m of the North-West section in the third quarter of 2024

частях массива К 270-5, К 270-6 достигают  $-120 \div -100$  МПа, в целике между К 270-3 К 270-7  $\sigma_y \approx -110 \div -140$  МПа (рис. 6б). В приконтурном массиве северного торца К 270-8  $\sigma_y$  до  $-120$  МПа. В целик между К 270-5, 270-6 и К270-1, 270-3 высокий градиент  $\sigma_y$ .\*

Результаты расчетов представлены в виде графиков изолиний компонентов тензора напряжений  $\sigma_x$  (субгоризонтальных) и  $\sigma_y$  (субвертикальных) в локальной горизонтальной системе координат ХОУ, направления осей которой соответствуют направлениям главных напряжений нетронутого массива в плоскости (в плане). Ориентация главных напряжений в горизонтальной плоскости на месторождении: в СЗ направлении с коэффициентом бокового отпора  $\lambda_1 = 2,6$  по азимуту  $125^\circ$ ; в ЮВ направлении главное напряжение с  $\lambda_2 = 1,4$ .

При отработке запасов блоков 5-160, 6-160 на горизонте  $+160$  м участка Новый Шерегеш и изменения параметров НДС в процессе их отработки исходное напряженное состояние массива на отм.  $+160$  м:  $\sigma_x^0 = -27,7$  МПа,  $\sigma_y^0 = -14,9$  МПа.

Отработка во II и III кварталах запасов в северо-восточной и восточной части приконтурного массива приводит к концентрации  $\sigma_x$  (до  $\approx -60$  МПа) и  $\sigma_y$  (до  $\approx -35$  МПа) в восточном торце. Все сформированные уступы разгружены от  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$ . Зоны неупругих деформаций формируются в приконтурном массиве восточного торца и охватывают значительную площадь ранее сформированных уступов. В них частично попадают буродоставочный орт (БДО) – 57 - 160, БДО -58 - 160. В IV квартале горные работы предполагаются в восточной части приконтурного массива. При этом в восточном торце  $\sigma_x \approx -70$  МПа, в угловой торца части  $\sigma_y \approx -40$  МПа, что значительно превышает  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  нетронутого массива.

#### **Влияние массы зарядов ВВ на магнитуду, энергетический класс взрывов и геодинамических явлений при отработке блоков**

Отработка рудных запасов на участках месторождения, как отмечено выше, производилась системами разработки этажного принудительного обрушения, этажно-камерной и подэтажного обрушения без и с твердеющей закладкой выработанного пространства гор.  $-55 \div -350$  м. Пройдено более  $6500$  м горных выработок. Для подготовки запасов, обрабатываемых системой этажно-принудительного обрушения, ведется проходка откаточных ортов № 28, 29а, 29б на гор.  $-350$  м

Восточного участка. Общий объем работ по проходке ортов за 9 месяцев составил  $214$  м.

Для подготовки запасов, обрабатываемых системой подэтажного обрушения, осуществляются работы на 6 подэтажах: с гор.  $-55$  до гор.  $-340$  м Западного, Северо-Западного и Восточного участков. Объем проходческих работ подготовительных выработок равен  $1246$  м. Объем проходки нарезных выработок за 9 месяцев года составил более  $5000$  м. Наибольший объем проходки нарезных выработок освоен на блоках, обрабатываемых на Западном участке, составил  $4136$  м. Добыча сырой руды достигла  $1700$  тыс. т и более.

В текущем году на Таштагольской шахте было проведено более  $200$  массовых взрывов, один из которых массовый взрыв по обрушению восточной секции блока № 10 в этаже  $(-350) \div (-280)$  м. Масса заряда составила  $95171$  кг, отбито  $156$  тыс. т рудной массы.

Большой объем добычи приходится на подэтажно-камерную систему разработки с закладкой выработанного пространства и составляет  $887$  тыс. т. Общий добытый объем из камер равномерно распределен между блоками №№ 1-17, 05-3, 3У и в среднем составляет по  $300$  тыс. т на блок.

Объем добычи по системе разработки этажного принудительного обрушения с отбойкой руды на компенсационные камеры эллипсоидной формы составил более  $372540$  тыс. т и приходится на блоки, расположенные в этаже  $-350/-280$  м (№ 10, 11, 22-23, 24-25).  $62,1$  тыс. т добыто из блока № 02, расположенного в этаже  $-210/-140$  м системой этажно-камерного обрушения с закладкой выработанного пространства.

Состояние массива горных пород оценивалось магнитудой взрыва, которая определяется путем вычисления энергетического класса (К) энергии (Е) сейсмического явления по формуле:

$$K=2,24+2,76Lg\tau, \text{ Дж} \quad (1)$$

где  $\tau$  – длительность записи, с (по каналу с максимальной длительностью;  $2,24$  и  $2,76$  – поправочные коэффициенты (рассчитанные ВНИИМИ).

Эквивалент сейсмического события (в тоннах ВВ) выражается по формуле (ИГД СО РАН)

$$LgP = \frac{LgA_{max}^{-0,1}}{0,9}, \text{ т} \quad (2)$$

где амплитуда  $A_{max} = \sqrt{A_{N-S}^2 + A_Z^2 + A_{W-E}^2}$ .

Расчет магнитуды производится по формуле  $M = (K - 2,38)/1,71$ .

Расчет магнитуды Кемеровской сейсмостанцией производится по формуле  $M = (K - 4)/1,8$ , где  $K$  – энергетический класс.

На рис. 8 представлено изменение магнитуды взрыва энергетического класса и геодинамических событий при взрывании блоков (камер) за период с  $2022$  по  $2025$  гг. на

\* Расчеты выполнены совместно с Л. Н. Гаховой.

Таштагольском месторождении. Обработка рудных запасов велась на участках месторождения системой подэтажного обрушения без и с закладкой выработанного пространства.

В блоках №№ 05-03, 02, 10 и др. при отбойке масса зарядов ВВ колебалась от 0,3 (0,4) до 18,0 т. Например, при отработке блоков камеры в них располагались в крест простирания рудного тела, между подэтажами. На рис. 9 представлены схемы расположения камеры 250-13-2 и в табл. технические показатели по камере. Как видно из рис. 9 рудные запасы в камере отбиваются

посредством вееров скважинных зарядов ВВ с удельным расходом ВВ на отбойку равным 0,538 кг/т, при объеме сырой руды – 19361,4 т.

При взрывании магнитуда изменялась от 1,4 до 3,0. Максимальные значения магнитуды 2,5-3,0 регистрировались в интервалах 1; 3,5; 6-18 т. Энергетический класс взрывов изменялся от 4,8 до 7,8, причем максимальный энергетический класс взрывов 6,3 и 7,8 соответствовал взрывам с массой ВВ 1,5 и 3,5 м и далее от 7,2 до 6,5 при массе ВВ от 5,5 до 18 т. Энергетический класс геодинамических явлений (в основном толчков) периодически снижался и увеличивался от 1,0 до

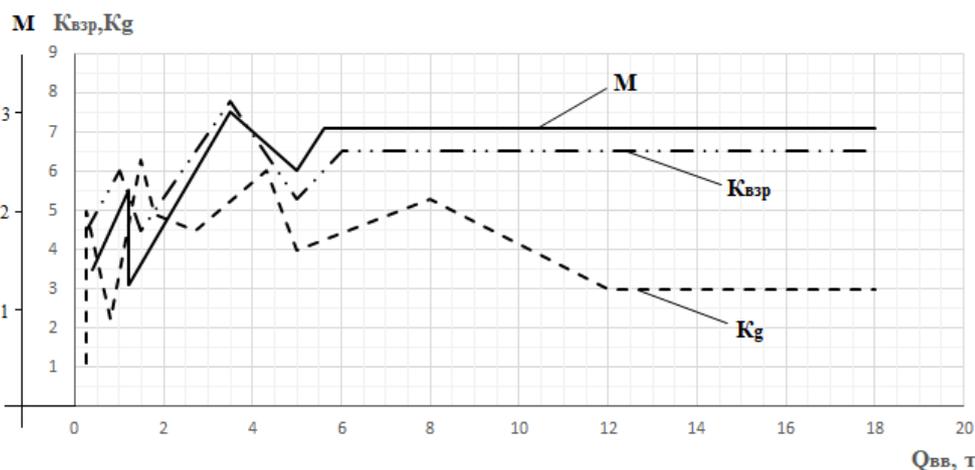


Рис. 8. Изменение магнитуды ( $M$ ), энергетического класса взрывов ( $K_{взр}$ ) и геодинамических явлений ( $K_g$ ) при проведении массовых технологических взрывах с разной массой ВВ ( $Q_{вв}$ ) на Таштагольском месторождении в 2022-2025 гг.

Fig. 8. Change in magnitude ( $M$ ), energy class of explosions ( $K_{vzr}$ ) and geodynamic phenomena ( $K_g$ ) during mass technological explosions with different mass of explosives ( $Q_{vв}$ ) at the Tashtagolskoye field in 2022-2025



Рис. 9. Выкопировка с плана гор. -250 м, расположение камеры 250-13-2. 1 - камера; 2 - закладка  
Fig. 9. Excavation from the mountain plan. -250 m, chamber location 250-13-2. 1 - chamber; 2 - bookmark

2,3 (масса зарядов соответствовала 0,3 и 3,5 т). Определено, что при взрывании с массой зарядов ВВ от 4,5 до 18 т энергетический класс составлял 3,2-5,2.

Также установлено, что на энергетические характеристики взрывов и геодинамических явлений оказывает большое влияние геологические структуры, расположенные в

районе вынимаемых блоков (камер), такие как: пологие тектонические разломы, трещины, дайки, контакты руд и пород. При взрывании 2-х вееров скважинных зарядов ВВ для создания камеры 270-2 в блоке № 1-17 гор. -270 м с массой зарядов ВВ 1,062 т способствовало возникновению магнитуды 2,3, при энергетических классах взрыва равном 6,0 и

Таблица. Технические показатели по камере 250-13-2  
Table. Technical data for chamber 250-13-2

Наименование	Ед. изм.	Блок № 05-3
		Камера № 250-13-2
Балансовые запасы в контурах отработки	т	19361,40
Содержание Fe в балансовых запасах	%	49,2
Рудная масса подлежащая выпуску (сырая руда)	т	19361,40
Содержание Fe в рудной массе (сырой руде) подлежащая выпуску	%	49,2
Объем закладываемых пустот	м <sup>3</sup>	5450,0
Потери	%	5,8
Засорение	%	11,8
Общее количество ВВ.	кг	9341,3
Общий объем бурения глубоких скважин	м	2326,0
Удельный расход ВВ на первичную отбойку	кг/т	0,538
Выход руды с 1 м скважины	т/м	9,561

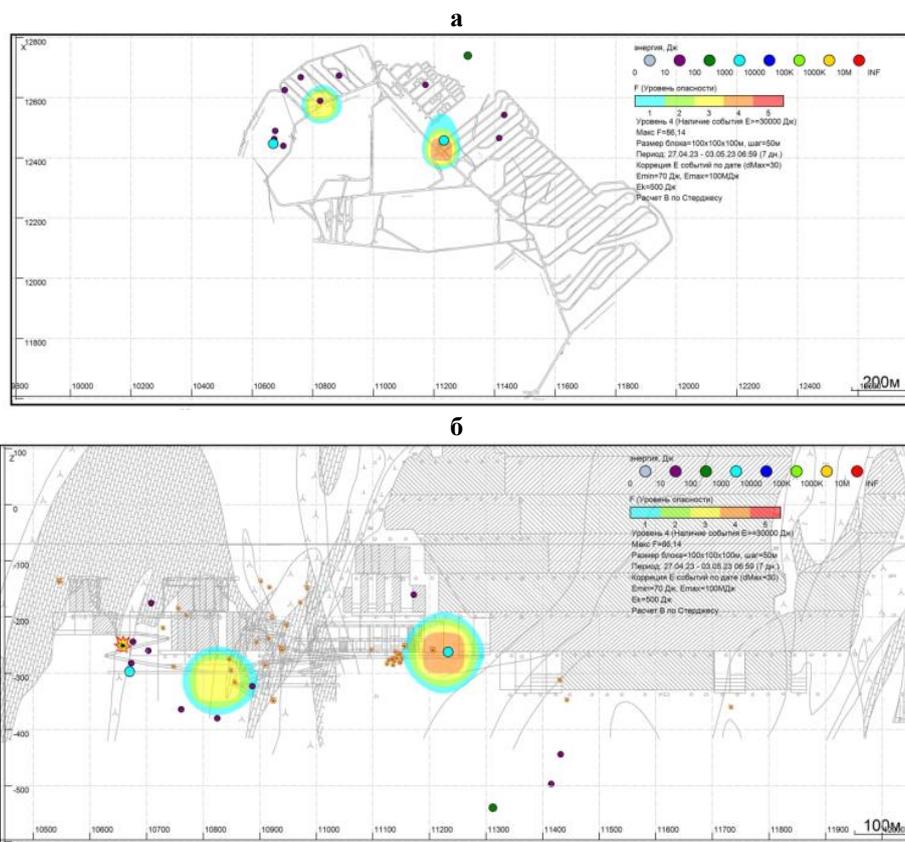


Рис. 10. Схемы расположения толчков в шахтном поле при образовании камеры 270-2: а - проекция XY; б - проекция XZ; 1-5 - класс событий

Fig. 10. Diagrams of the location of shocks in the mine field during the formation of chamber 270-2: a - XY projection; b - projection XZ; 1-5 - event class

толчков 3,5-4,0 (рис. 10). в окрестности тектонических трещин, даек и контактов породы.

При ведении очистных работ в блоке № 2 на камеры 25-4,2,13,9 гор. -125/-99 м магнитуда событий колебалась от 1,5 до 2,6 при массе зарядов ВВ равной 1,0-6,0 т, энергетический

класс взрывов составлял 4,0-6,2, при этом зарегистрированы толчки классом 4,0-4,2 в районе геологических нарушений. В выработках выявлены трещины в бетоне и заколообразование (рис. 11).

На Шерегешевском месторождении только в

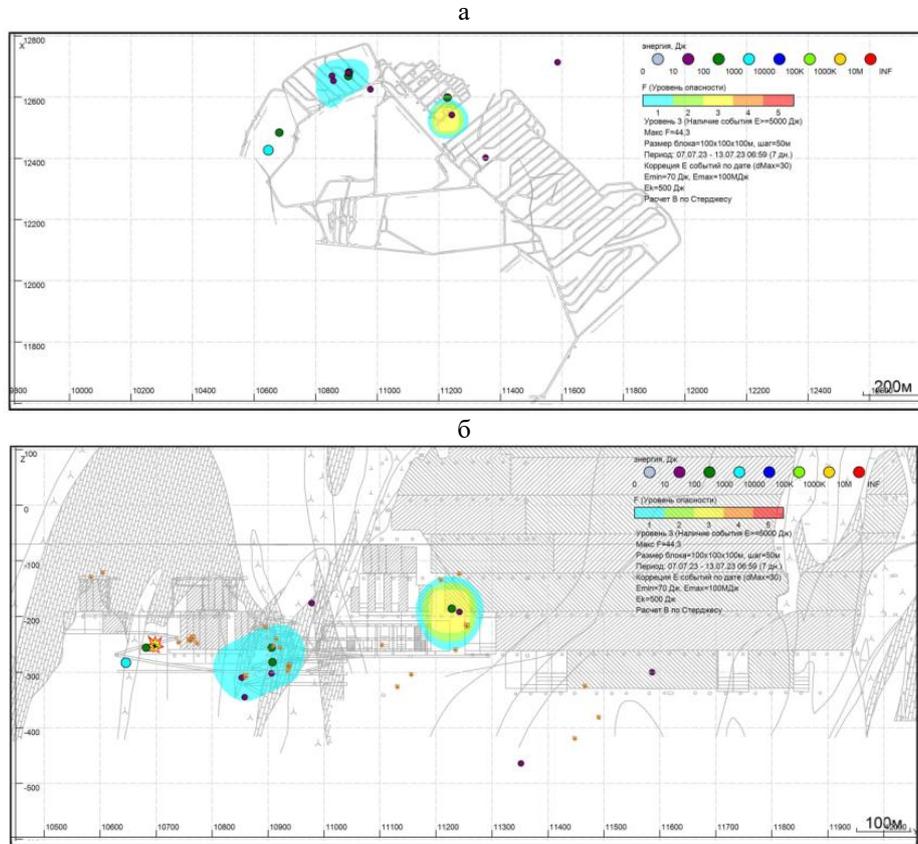


Рис. 11. Схема расположения толчков в шахтном поле при оформлении камер №№ 25-4, 2, 13 и 9: а - проекция XU; б - проекция XZ

Fig. 11. Diagram of the location of shocks in the mine field when designing chambers No. 25-4, 2, 13 and 9: а - XU projection; б - XZ projection

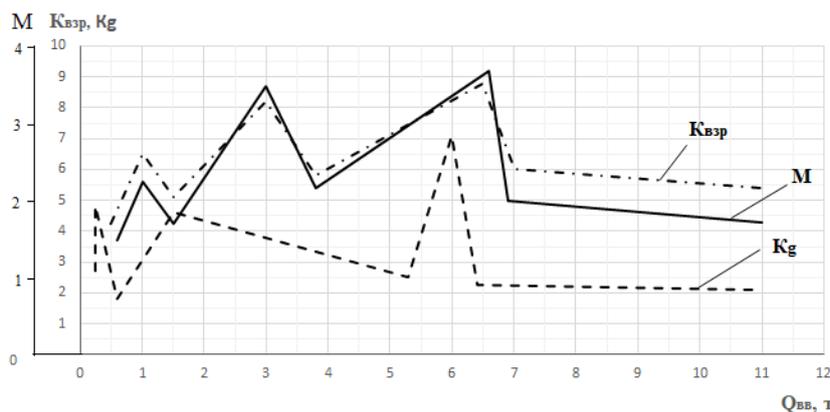


Рис. 12. Изменение магнитуды (M), энергетического класса взрывов (Kвзр) и геодинамических явлений (Kg) при проведении массовых технологических взрывах с разной массой ВВ (Qвв) на Шерегешевском месторождении в 2022-2025 гг.

Fig. 12. Change in magnitude (M), energy class of explosions (Kвзр) and geodynamic phenomena (Kg) during mass technological explosions with different explosive masses (Qвв) at the Sheregeshevskoye field in 2022-2025

2023-2025 гг. произошло более 1000 массовых технологических взрывов по блокам №№ 1-140, 1-115, 1-195, 4-140, 5160, 1-185 и др. в буродоставочных ортах и штреках №№ 1,2,3 и т.п. с массой зарядов ВВ от 0,3 до 11,0 т, при этом максимальная магнитуда взрывов колебалась 2,2 до 3,7, а энергетический класс – 8-9 (рис. 12). Взрывание зарядов ВВ с массой 1,0-1,5 и 5,5-6,0 т способствовало увеличению энергетического класса геодинамических явлений от 4,5 до 2,0, что вызвало обрушение горных пород и заколообразование. При магнитудах более 3,0 наблюдалось обрушение горных пород, трещины в крепи, стреляние и заколообразование.

На рис. 13 представлена схема расположения очагов геодинамических явлений выше 3-го энергетического класса за год на участках Шерегешевского месторождения, где максимальное количество событий зарегистрировано на участке Новый Шерегеш, связанное с интенсивность ведения очистных работ в данном районе.

Отбойка камеры № 340-14-1 в блоке № 1-17 в этаже (-340) ÷ (-310) м Северо-Западного участка Таштагольского месторождения с балансовыми

запасами 57,028 тыс. т с удельным расходом ВВ на отбойку 0,590 кг/т, позволила достичь снижения потерь от 8,0 до 6,0 % и разубоживание от 10,8 до 8,8 %. Взрывная отбойка, например, блоков № 1-70 в этаже (-140) ÷ (-160) м на участке Новый Шерегеш с балансовыми запасами 635,3 и 681,2 тыс. т и удельным расходом ВВ на отбойку 0,499 и 0,511 кг/т способствовали обеспечению добычи руды со снижением потерь от 21 до 19 % и разубоживание – от 20,0 до 18,8 %.

#### Выводы

1. Таштагольское и Шерегешевское рудные месторождения разрабатываются системами с обрушением руд и вмещающих пород, а также с закладкой выработанного пространства на глубокие 1000 м и более в сложных горно-геологических и удароопасных условиях.

2. Дана оценка геомеханического состояния массива горных пород методом математического моделирования, которая показала, что вокруг выработанных пространств блоков (камер) располагаются зоны концентрации напряжений, равные - 10 ÷ -120 (-140 МПа), и неупругих деформаций на глубинах 5-8 м от обнаженных плоскостей.

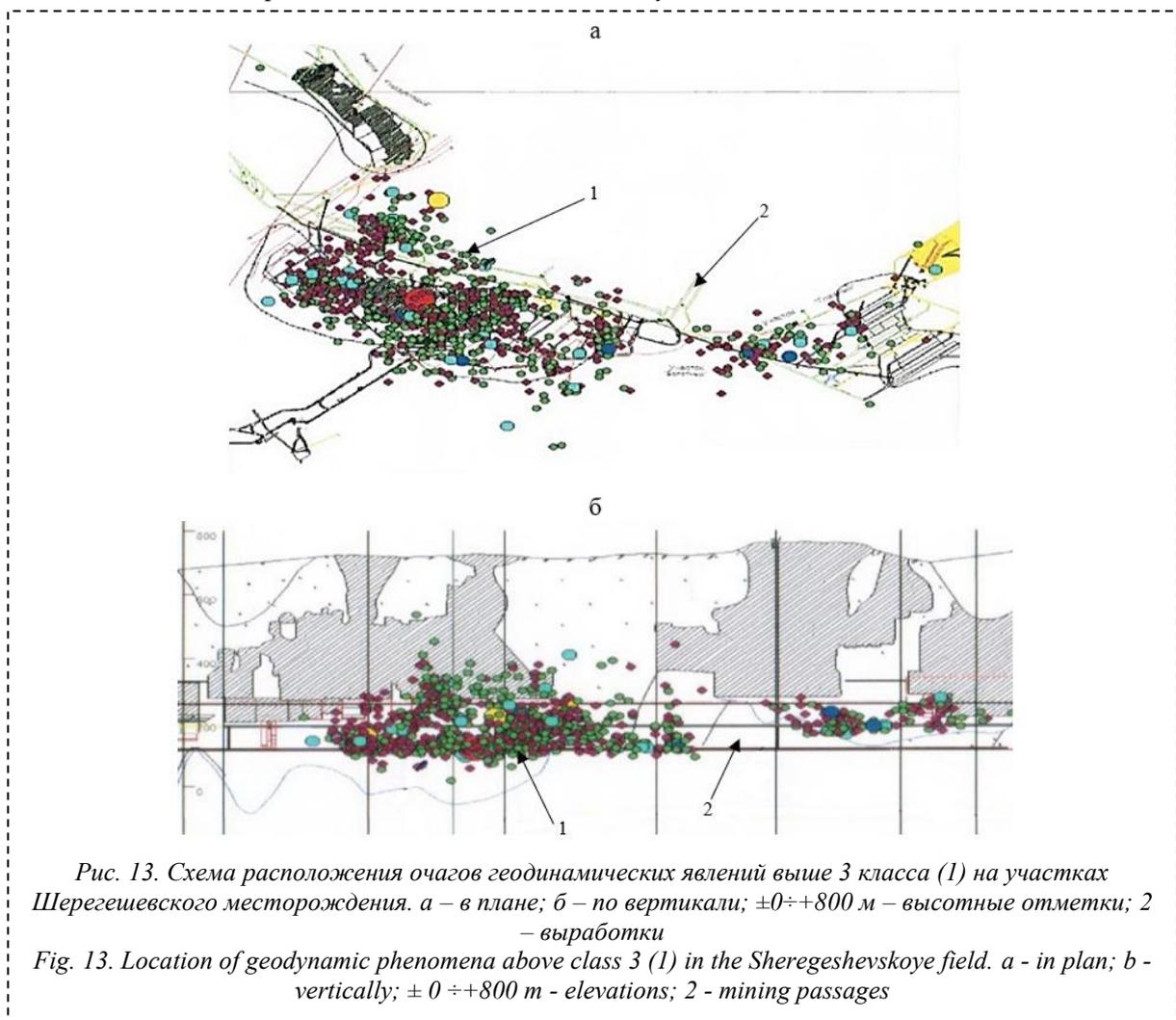


Рис. 13. Схема расположения очагов геодинамических явлений выше 3 класса (1) на участках Шерегешевского месторождения. а – в плане; б – по вертикали;  $\pm 0 \div +800$  м – высотные отметки; 2 – выработки

Fig. 13. Location of geodynamic phenomena above class 3 (1) in the Sheregeshevskoye field. a - in plan; b - vertically;  $\pm 0 \div +800$  m - elevations; 2 - mining passages

3. При проведении массовых технологических взрывов на рудных участках Таштагольского и Шерегешевского месторождений в условиях НДС массива пород установлено:

– при взрывании масса одиночных и веерных скважинных зарядов ВВ изменялась от 0,9 до 18,0 т и от 0,3 до 16,0 т;

– магнитуда и энергетический класс взрывов соответственно 1,4 – 3,0 и 2,2 – 3,7; 2,5 – 3,0 и 4,5 – 7,0;

– энергетический класс толчков – 1,0 – 6,2 и 1,7 – 8,3;

Наиболее безопасный уровень магнитуды наблюдается при взрывании зарядов с массой ВВ 0,4-0,5 т; 1,8-2,2 т; 4,5-5,2 т (шахта Таштагольская) и 0,5-0,7 т; 3,5-4,5 т; 6,9-11,0 т (шахта Шерегешская); снижение энергетического класса геодинамических явлений отмечено в интервалах 0,3-0,4 т; 0,8-0,9 т; 1,9-3,5 т; 4,8-18,0 т; а также 0,3-0,4 т; 0,6-0,8 т; 4,7-5,2 т и 6,3-11,0 т.

4. Микросейсмический метод оценки геомеханического состояния массива горных пород в шахтах показали, что в последние годы сейсмоактивные зоны с ростом энергетического класса толчков в основном формируются на Восточном и Северо-Западном участках Таштагольского месторождения и участках Новый Шерегеш и Главный Шерегешевского месторождения, при этом в выработках наблюдаются обрушения горных пород, нарушение крепи и заколообразование.

5. В условиях удароопасности массива горных пород при отработке блоков с учетом установленных зависимостей изменения магнитуды, энергетических классов взрывов и геодинамических явлений при различной массе зарядов ВВ, при отработке блоков (камер) достигнуто снижение потерь и разубоживания на 2 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савич И. Н. Обоснование параметров системы разработки с поэтажным обрушением при торцевом выпуске руды // ГИАБ. - 2004. - № 4. - С. 219 – 221.

2. Замесов Н. Ф., Айнбиндер И. И., Бурцев Л. И., Родионов Ю. Н., Овчаренко О. В. Развитие интенсивных методов добычи руд на больших глубинах. - М.: ИПКОН АН СССР, 1990. - 233 с.

3. Шапошник Ю. Н., Неверов А. А., Кудря А. О., Неверов С. А., Никольский А. М. Обоснование выемки подкарьерных и прибортовых запасов системами с обрушением и твердеющей закладкой на Артемьевском руднике при переходе с открытых горных работ на подземную добычу // ФТПРПИ. - 2024. - № 6. - С. 98 – 109.

4. Еременко А. А., Копытов А. И., Филиппов В. Н., Волков А. В. Оценка геодинамического

состояния массива горных пород при взрывной отбойке рудных запасов на участках Таштагольского и Шерегешевского месторождений // Вестн. КузГТУ. - 2023. - № 3 (157). - С. 70 – 78.

5. Еременко А. А., Колтышев В. Н., Лобанов К. Н. Оценка геомеханического состояния массива горных пород на участке центральные штоки Казского месторождения // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2023. - Т. 2. - № 1. - С. 86 – 90.

6. Еременко А. А., Гаврилов А. Г., Штирц В. А., Писарев В. С. Оценка геомеханического состояния подработанных пород массива при выемке слепого рудного тела на Таштагольском месторождении // ФТПРПИ. - 2023. - № 2. - С. 48 – 56.

7. Линдин Г. Л., Лобанова Т. В. Особенности сейсмоактивности Таштагольского месторождения перед горными ударами // ФТПРПИ. - 2012. - № 2. - С. 70 – 79.

8. Адушкин В. В. Тектонические землетрясения техногенного происхождения // Физика Земли. - 2016. - № 2. - С. 8 – 28.

9. Адушкин В. В. Триггерная сейсмичность Кузбасса // Триггерные эффекты в геосистемах. - М.: ГЕОС, 2015. - С. 8 – 28.

10. Malovichko D. A. and van Aswegen G. Testing of the source processes of mine related seismic events, 8th Int. Symp. Rockbursts and Seismicity in Mines, St. Petersburg, Moscow, Obninsk, GS RAS, 2013. - P. 93 – 106.

11. Еманов А. Ф., Еманов А. А., Фатеев А. В., Шевкунова Е. В., Подкорытова В. Г., Куприш О. В. Техногенные сейсмические активизации в Кузбассе и Горной Шории // Вестн. НЦ ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. - 2020. - № 2. - С. 5 – 18.

12. Еманов А. Ф., Еманов А. А., Фатеев А. В. Сейсмотектоника активизированной объемной структуры разломов: результаты исследования строения верхнекоревой очаговой области Чуйского землетрясения  $M = 7.3$ , произошедшего 27 сентября 2003 г. в Горном Алтае (Россия) // Геотектоника. - 2021. - № 2. - С. 94 – 104.

13. Еманов А. Ф., Еманов А. А., Фатеев А. В., Шевкунова Е. В., Подкорытова В. Г. Сейсмичность Алтае-Саянского региона в 2020 году // Землетрясения Северной Евразии. - 2024. - Вып. 27. - С. 127 – 134.

14. Лобанова Т. В., Васильева Е. В. Короткопериодные смещения на границах тектонических разломов Таштагольского месторождения // Гео-Сибирь. - 2010. - Т. 2. - № 2. - С. 147 – 151.

15. Еременко А. А., Еременко В. А., Гайдин А. П. Горно-геологические и геомеханические условия разработки железорудных месторождений в Алтае-Саянской складчатой области - Новосибирск: Наука, 2009. - 224 с.

© 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:

**Волков Андрей Викторович**, ООО «Глобал БВР», ул. Новослободская, влд. 1, стр. 1, г. Мытищи, Московская область, 141009, Россия, E-mail: kazandrei3@mail.ru

**Еременко Андрей Андреевич**, Институт горного дела имени Н. А. Чинакала СО РАН, Красный проспект, 54, Новосибирск, 630091, Россия, e-mail: eremenkoa1949@yandex.ru

**Копытов Александр Иванович**, докт. техн. наук, профессор кафедры ФПиСГ, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: L01BDV@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

Волков Андрей Викторович - постановка исследовательской задачи, сбор и анализ данных, написание текста;

Еременко Андрей Андреевич - выводы, написание текста;

Копытов Александр Иванович - анализ данных, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## Original article

### ASSESSMENT OF THE IMPACT OF MASS TECHNOLOGICAL EXPLOSIONS ON THE GEODYNAMIC STATE OF THE ROCK MASS AND IMPACT INDICATORS

Andrey V. Volkov<sup>1</sup>, Andrey A. Eremenko<sup>2</sup>,  
Alexander I. Kopytov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Global BVR LLC

<sup>2</sup> Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences

<sup>3</sup>T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

\* for correspondence: eremenkoa1949@yandex.ru



#### Article info

Received:

15 December 2025

Accepted for publication:

15 January 2026

Accepted:

12 February 2026

Published:

19 March 2026

**Keywords:** rock formation, explosion, impact, seismic energy, deposit, ore sites, mining system, oversized output

#### Abstract.

Man-made seismic activity accompanying the development of iron ore shock-hazardous deposits in Gornaya Shoria, including blasting, was considered. After massive technological explosions, geodynamic phenomena of various intensities are recorded. An assessment of the impact of blasting operations on the energy class of explosions, shocks and the magnitude of events during the development of blocks by systems without and with the laying of a cleaning space is given. The method of mathematical modeling established the stress-strain state of the mass in the area of blocks (chambers). It has been established that zones of inelastic deformations are formed in pillars between chambers, in ledges of spent chambers, as well as along auger ports and strokes. When mining ore reserves during the year, subhorizontal and subvertical stresses are redistributed in the rock mass. The effect of the mass of explosive charges on the magnitude, energy class of explosions and shocks, as well as the formation of seismic activity zones in the mine field were revealed. During mining of ore reserves by the system of subfloor collapse on subfloors from the horizon (mountains) -55 to the mountains. - 340 m of the Western, North-Western and Eastern sections, where the volume of tunneling of preparatory workings amounted to more than 1200 m, and rifled workings - 41336 m, with the volume of crude ore production of 1700 thousand tons. The volume of production under the system of development of a storey forced collapse with ore breaking on compensation chambers and clamping medium amounted to more than 370 thousand tons per blocks. In

*the process of cleaning, the state of the massif was estimated by magnitude according to the formulas proposed by VNIMI, Chinakal Institute of Mining Siberian Branch and Kemerovo seismic station. A safe level of magnitude was revealed when blasting charges with different explosive weights in the range from 0.3 to 16.0 tons. Adjustment of the parameters of drilling and blasting operations made it possible to reduce losses and dilution by 2%.*

**For citation:** Volkov A.V., Eremenko A.A., Kopytov A.I. Assessment of the impact of mass technological explosions on the geodynamic state of the rock mass and impact indicators. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2026; 1(173):125-137. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2026-1-125-137, EDN: PLTNWG

## REFERENCES

1. Savich I.N. Substantiation of the parameters of the development system with sub-storey collapse during end ore production//GIAB. - 2004. - № 4. - pp. 219-221.
2. Zamesov N.F., Ainbinder I.I., Burtsev L.I., Rodionov Yu.N., Ovcharenko O.V. Development of intensive methods of ore mining at great depths. - M.: IPKON AN USSR, 1990. - 233 p.
3. Shaposhnik Yu. N., Neverov A. A., Kudrya A. O., Neverov S. A., Nikolsky A. M. Justification for the extraction of sub-quarry and marginal reserves by systems with collapse and hardening laying at the Artemyevsky mine during the transition from open pit mining to underground mining//FTPRPI. - 2024 - No. 6. - pp. 98-109.
4. Eremenko A. A., Kopytov A. I., Filippov V. N., Volkov A. V. Assessment of the geodynamic state of the rock massif during blasting of ore reserves in the areas of Tashtagolsky and Sheregeshevsky deposits//Vestn. KuzGTU. - 2023. - № 3 (157). - pp. 70-78.
5. Eremenko A. A., Koltyshev V. N., Lobanov K. N. Assessment of the geomechanical state of the rock mass in the area of the central rods of the Kazskoye field//Interexpo Geo-Siberia. 2023. - VOL. 2. - № 1. - pp. 86-90.
6. Eremenko A. A., Gavrilov A. G., Stirts V. A., Pisarev V. S. Assessment of the geomechanical state of the mined rocks of the massif during the extraction of a blind ore body at the Tashtagolsky deposit//FTPRPI. - 2023. - № 2. - pp. 48-56.
7. Lindin G.L., Lobanova T.V. Features of the seismic activity of the Tashtagolsky field before mountain impacts//FTPRPI. - 2012. - № 2. - pp. 70-79.
8. Adushkin V.V. Tectonic earthquakes of man-made origin//Physics of the Earth. - 2016. - № 2. - pp. 8-28.
9. Adushkin V.V. Kuzbass trigger seismicity//Trigger effects in geosystems. - M.: GEOS, 2015. - pp. 8-28.
10. Malovichko D. A. and van Aswegen G. Testing of the source processes of mine related seismic events, 8th Int. Symp. Rockbursts and Seismicity in Mines., St. Petersburg, Moscow, Obninsk, GS RAS, 2013. - pp. 93-106.
11. Emanov A.F., Emanov A.A., Fateev A.V., Shevkunova E.V., Podkorytova V.G., Kuprish O.V. Man-made seismic activations in Kuzbass and Gornaya Shoria//Vestn. NTS VostNII for industrial and environmental safety. - 2020. - № 2. - pp. 5-18.
12. Emanov A.F., Emanov A.A., Fateev A.V. Seismotectonics of the activated volumetric structure of faults: results of the study of the structure of the upper cortex focal region of the Chuysky earthquake M = 7.3, which occurred on September 27, 2003 in Gorny Altai (Russia) //Geotectonics. - 2021. - № 2. - pp. 94-104.
13. Emanov A.F., Emanov A.A., Fateev A.V., Shevkunova E.V., Podkorytova V.G. Seismicity of the Altai-Sayan region in 2020//Earthquakes of Northern Eurasia. - 2024. - Issue. 27. - pp. 127-134.
14. Lobanova T.V., Vasilyeva E.V. Short-period displacements at the boundaries of tectonic faults of the Tashtagolsky field//Geo-Siberia. - 2010. - VOL. 2. - № 2. - pp. 147-151.
15. Eremenko A. A., Eremenko V. A., Gaidin A. P. Mining and geological and geomechanical conditions for the development of iron ore deposits in the Altai-Sayan folded region - Novosibirsk: Nauka, 2009. - 224 p.

© 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 V. Volkov**, LLC "Global BVR", Novoslobodskaya str., vld. 1, p. 1, Mytishchi, Moscow Region, 141009, Russia, E-mail: kazandrei3@mail.ru

**Andrey A. Eremenko**, N. A. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasny Prospekt, 54, Novosibirsk, 630091, Russia, e-mail: eremenkoa1949@yandex.ru

**Alexander I. Kopytov**, Dr. Tech. Sci., Professor of the Department of Physics and Engineering, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennaya St., 28), e-mail: L01BDV@yandex.ru

## Contribution of the authors:

Andrey V. Volkov- setting the research task, collecting and analyzing data, and writing the text;

Andrey A. Eremenko- conclusions, writing the text;

Alexander I. Kopytov- data analysis, writing the text.

All authors have read and approved the final manuscript.

