



**ДИАГНОСТИКА ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД
ПРИ СИСТЕМАХ РАЗРАБОТКИ С МАССОВЫМ ОБРУШЕНИЕМ РУДЫ
И ЗАКЛАДКОЙ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА**

В. Н. Штирц¹, Е. А. Христюбов², А. А. Еременко³

¹*Шахта Таштагольская, АО “Евраз ЗСМК”, E-mail: Vladimir.Shtirts@evraz.com,*

²*Шахта Шерегешевская, АО “Евраз ЗСМК”, E-mail: Evgeny.Khristolubov@evraz.com,
ул. Советская 1а, п. Шерегеш 652971, Россия*

³*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала, E-mail: eremenko@.ru,
Красный проспект 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

Даны геологическая и горнотехническая характеристики Таштагольского месторождения. Установлено расположение зоны опорного давления при отработке Восточного участка. Рассмотрены случаи проявления толчков и нарушения в выработках. Выполнена оценка НДС массива горных пород разными методами прогноза геодинамических явлений, Определена категория удароопасности. Выявлены аномальные участки в пределах шахтного поля в районе ортов № 03–10, № 22–25 и др. Отмечено, что основными факторами, влияющими на НДС горных пород, являются совмещенные взрывы по подготовке и обрушению блоков.

Массив горных пород, закладка, выработанное пространство, напряжения, толчки, система разработки, руда

**DIAGNOSTICS OF THE GEOMECHANICAL CONDITION OF THE ROCK MASSIVES
UNDER DEVELOPMENT SYSTEMS WITH MASS COLLAPSING OF ORE
AND LAYING OF THE WORKED SPACE**

V. A. Shtirts¹, E. A. Khristolyubov², and A. A. Eremenko³

¹*Mine Tashtagol, JSC “Evraz ZSMK”, E-mail: Vladimir.Shtirts@evraz.com,
ul. 20th Partseyezda 11B, Tashtagol 652971, Russia*

²*Mine Sheregesh, JSC “Evraz ZSMK”, E-mail: Evgeny.Khristolubov@evraz.com,
ul. Sovetskaya 1a, Sheregesh 652971, Russia*

³*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: eremenko@ngs.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091, Russia*

The geological, mining and technical characteristics of Tashtagol deposit are given. The location of the pressure zone during the development of the Eastern section is determined. Cases of rockburst and disturbances in the workings are considered. The estimation of the stress state of the rock mass using different methods for predicting geodynamic phenomena was performed; shock hazard category defined. Anomalous sections were revealed within the mine field in the area of workings no. 03–10, no. 22–25, etc. It was established that the combined factors for the preparation and collapse of blocks are the main factors affecting the stress state of rocks.

Rock massif, laying, mined-out space, stresses, tremors, development system, ore

На Таштагольском месторождении, входящем в Кондомскую группу железорудных месторождений, выявлены и разведаны до глубины 1500 м пять рудных участков: Восточный, Северо-Западный, Юго-Восточный (отрабатываются), Западный и Глубокий. Рудная зона по простиранию простирается в виде полосы длиной 7.5 км сильно сжатой дугообразной формы залежи, в которой последовательно с запада на восток располагаются рудные участки. Она приурочена к карбонатсодержащим породам рудной подбиты Мундыбашской свиты и локализована между

гребневыми выступами сиенитовогоакмолита. Рудные тела залегают среди скарнов, метасоматитов, сиенитов, метаморфических сланцев, секутся дайками микросиенитов, диоритов, диоритовых порфиритов. Простираение рудных тел изменчивое, а падение крутое (60–90°). Форма их штокообразная, столбообразная. Длина рудных тел по простиранию на разных участках колеблется в пределах 110–690 м, по падению 190–1440 м. Наиболее крупные рудные тела, расположенные на Восточном участке, сложены магнетитом темно-серого цвета тонко-мелкозернистой структуры. Обычно это однородные, плотные, массивные, массивно-полосчатые разности с гнездами хлорит-эпидот-гранатового состава. По минералогическому составу руды преимущественно магнетитовые, реже сульфидно-магнетитовые и гематит-магнетитовые [1, 2].

В структурном отношении Таштагольское месторождение располагается на восточном крыле одноименной антиклинали субмеридионального простирания, имеющей форму изоклинали складки. Складка осложнена инъективными дислокациями интрузивных тел и разрывных нарушений. Главной особенностью тектонической структуры является блочный характер разрывной тектоники [3–5].

В 2019 г. нарезные работы были сосредоточены на шести горизонтах по 11 блокам на трех участках месторождения. Основной объем проходки нарезных выработок сосредоточен на Восточном и Северо-Западных участках и составил 7404 м. Фактические данные по бурению глубоких скважин в технологических блоках диаметром 105 и 160 мм составили соответственно 152 и 10.4 км; самоходной техникой в пересчете на 105 мм — 9.7 км.

Очистные работы осуществлялись на Северо-Западном (СЗУ), Восточном и Юго-Восточных участках. За год добыто 2 528 тыс. т сырой руды с содержанием железа 30.8%, произведено концентрата 1 590 тыс. т с содержанием железа 42.33%. Продолжается отработка запасов руды в охранных целиках системой с твердеющей закладкой выработанного пространства. Закладочные работы велись на двух участках месторождения — Восточном участке и СЗУ. Всего заложено 123.6 тыс. м³ камер.

В соответствии с «Перечнем опасных зон на 2020 год» на участках повышенного горного давления находятся блоки, указанные в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Блоки в зоне опорного давления

Наименование опасной зоны	Местоположение опасной зоны
Зона опорного давления от выработанного пространства Восточного участка	Выработки горизонта подсечки и заходки под ВДПУ блока 11 в этаже (–350)/(–280) м
Зона опорного давления от выработанного пространства Восточного участка	Выработки горизонта подсечки и заходки под ВДПУ блока 5 в этаже (–280)/(–210) м
Зона опорного давления от выработанного пространства Восточного участка	Выработки горизонта подсечки и заходки под ВДПУ блока 2 в этаже (–70)/(±0) м ЮВУ
Зона опорного давления от выработанного пространства Восточного участка	Выработки горизонта подсечки и заходки под ВДПУ блока 9 в этаже (–350)/(–280) м
Зона опорного давления от выработанного пространства Восточного участка	Выработки горизонта подсечки и заходки под ВДПУ блока 10 в этаже (–350)/(–280) м ВУ

В перечисленных блоках максимум опорного давления приходился на нижнюю треть этажа. Расположение и форма зоны опорного давления выработанного пространства в начале и в конце года показаны на (рис. 1).

Меньшее влияние на НДС массива и проявления горного давления оказывают проходческие работы. Однако непосредственная близость к краевой части массива через небольшой интервал времени после взрывных работ (1–3 ч) создает условия для формирования зон концентрации толчков. Поэтому оценка удароопасности участков массива производится для незакрепленных и закрепленных временной крепью подготовительных и нарезных выработок.

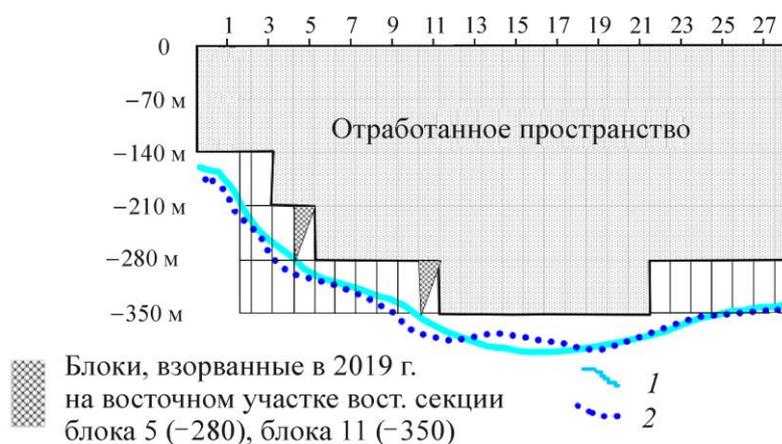


Рис. 1. Расположение зоны опорного давления на Восточном участке: 1 — в начале 2019 г.; 2 — в сентябре 2019 г.

В шахтном поле зарегистрировано 1560 толчков с суммарной энергией 1.05×10^7 Дж. В результате толчков происходили нарушения в выработках (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2. Проявление горного давления в выработках

Дата и время обнаружения	Тип события	Выработка	Место проявления	Описание
17.01.2020 5:45	Толчок	Орт № 5, гор. – 280 м	Рудная часть	17 января 2020 г. в 5:40 сейсмостанцией “Таштагол” зарегистрирован толчок энергетического класса 4,7 (3 орт, центр)
19.01.2020 5:40	Толчок	Блок 05-3, гор. – 280	Камера 270-3	19 января 2020 г. в 05:35 зарегистрирован толчок с энергетическим классом 6.4. В выработках нарушения не обнаружены
22.01.2020 2:30	—	Гор. – 225 м, гор. – 280	БДО-4	При проходке выработки вывалы горных пород с бортов, объем 10 м^3
23.01.2020 0:00	—	Орт 5, гор. – 210	7 подэтаж, буровая камера	Заколообразование
22.02.2020 12:01	Толчок	Орт 5, гор. – 280	Р-н ВДПУ 1-7	После производства СМВ 6.5 в 12:00:30 (через 13 с) зарегистрирован толчок 5 класса. Обнаружено поднятие путей на протяжении 36 м в рудной части на 30–60 см
30.04.2020 4:00	—	БО5-6-225, гор. – 250	Забой	Заколообразование
02.05.2020 17:20	Толчок	Камера 2070-1, гор. – 270	270-1	2 мая 2020 г. в 17:17 зарегистрирован толчок с энергетическим классом 6.2
04.05.2020 4:40	Толчок	Район камеры 270-1, гор. – 270	270-1	4 мая 2020 г. в 04:35 зарегистрирован толчок с энергетическим классом 4.9

Выполнялась оценка НДС массива горных пород и степени удароопасности [6–9]. Схема применяемого в настоящее время комплекса методов контроля НДС массива приведена на (рис. 2). Данный комплекс содержит оптимальное количество методов, позволяет контролировать изменение напряженного состояния участков горного массива, определять категорию удароопасности в рабочих забоях [10, 12].

Метод оценки НДС методом электропрофилеирования, подтверждает выявленный ранее характер изменения состояния массива после производства массовых взрывов по обрушению блока (рис. 3):

— электрометрический коэффициент K_p изменяется на прилегающих к обрушенному блоку горизонтах (в большей степени на верхнем горизонте);

— в первые дни после взрыва уровень напряжений выше, чем до взрыва. Если взрыв сопровождался значительными нарушениями крепи в выработках, то K_p может не измениться или даже снизиться;

— в течение 2–3 недель после взрыва уровень напряжений восстанавливается до обычного.

Методы оценки напряженно-деформированного состояния массива						
Региональные			Локальные			
Микро-сейсмический	Электро-метрические	Электро-профилирование	Электро-метрические	По деформации массива горных пород (станции глубинных реперов)	По дисконанию керна (БСК)	Регистрация электро-магнитного излучения (ANGEL-M)
	ПЭЗ		Каротаж	Значения и скорости деформаций, сдвижений		
Параметры сейсмической активности	Электро-метрический коэффициент	Сопротивление массива и зона пригрузки			Толщина диска и зона пригрузки	Параметры электро-магнитного излучения

Рис. 2. Классификация используемых методов оценки НДС массива

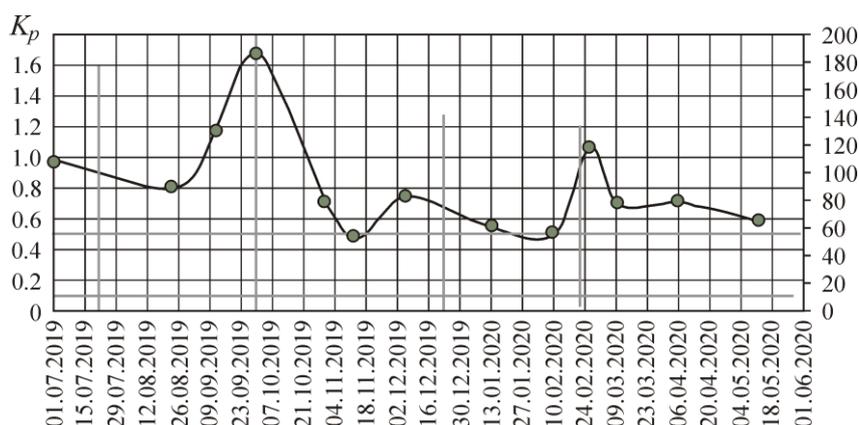


Рис. 3. Изменение K_p : а — по Северо-западному полевому штреку (СЗПШ) Северо-Западного участка гор. –280 м; б — по юго-восточному полевому штреку (ЮВПШ) гор. –350 м

Электрокаротаж проводится в опережающих скважинах при проходке выработок, а также по стационарным скважинам в районе ствола шахты Западная на гор. –140 и –210 м. Каротаж выполняется по отработанной симметричной четырехэлектродной схеме с помощью аппаратуры “Эра-В-Знак” или ERA-MAX. Все откаточные и капитальные выработки проходятся с обязательным бурением опережающих скважин. Каротаж выполнялся в каждой вновь отбуренной скважине. В течение года опережающие скважины бурились в ортах 28^а, 30 гор.–350 м и гор. –140 м, в откаточном штреке со стороны ствола Сибиряк и со стороны ВУ –350 м. Категория удароопасности “опасно” методом каротажа не устанавливалась.

В целом сейсмическая активность находилась на очень высоком уровне, что обусловлено подготовкой блоков, находящихся в зоне влияния тектонического нарушения и не равномерным проведением технологических взрывов на всех участках месторождения. События 1-2 классов составляли 90.31% от общего количества толчков, события 3-4 класса — 8.99%. События с высокой энергетикой (свыше 1 00 000 Дж) составляют 0.7%, что связано с подготовкой к обрушению блока 11.

На карте сейсмической активности по плотности событий в пределах шахтного поля четко выделяются три аномалии: в районе 03-10 ортов и в районе 22-25 ортов, также сформировалась зона активности на Северо-Западном участке в районе ортов 10-11 (рис. 4)

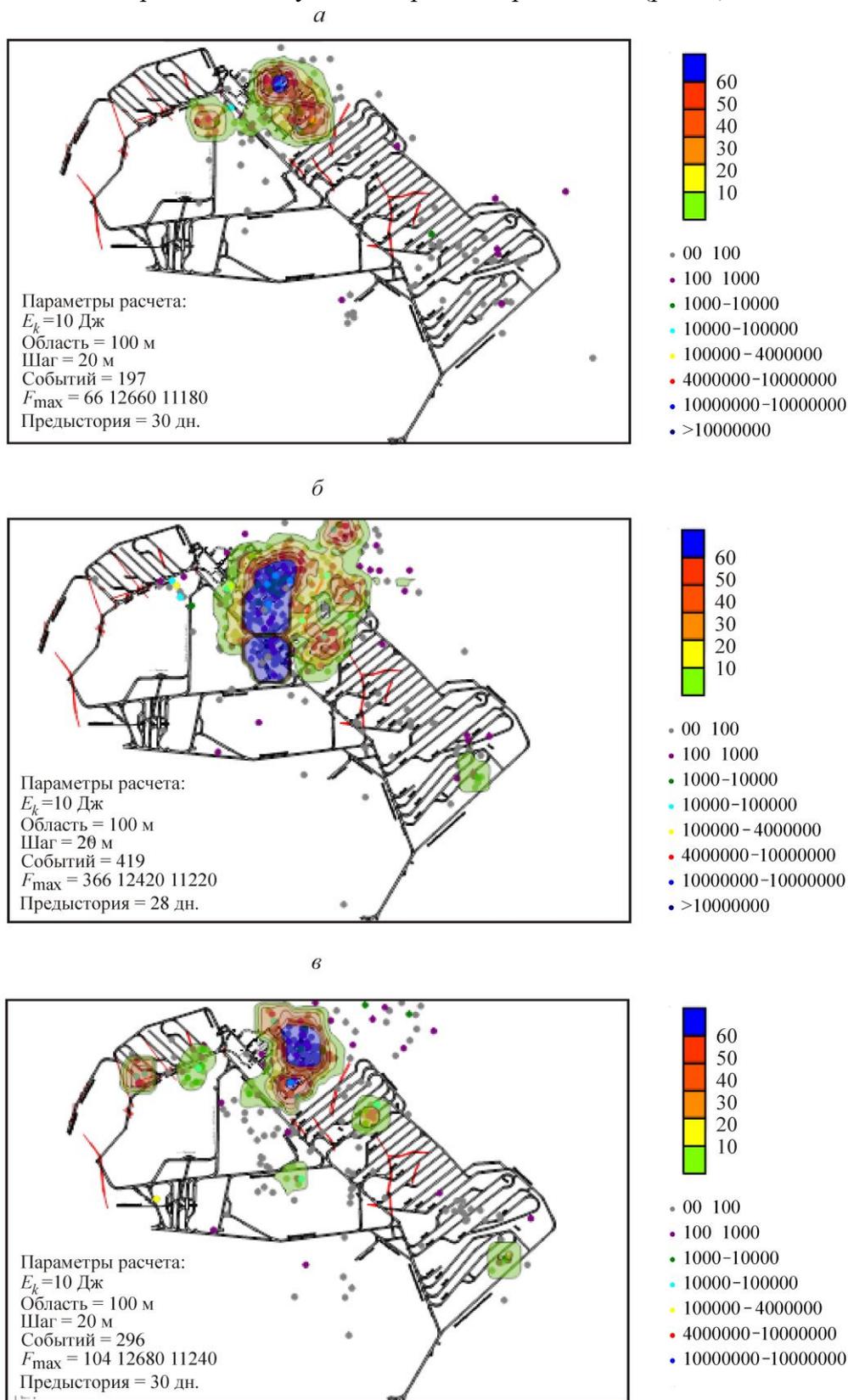


Рис. 4. Зоны удароопасности при обрушении блока № 2 панелей 2, 3 секции 2 22.12.19: *a* — за месяц до взрыва 21.11.19-21.12.19; *б* — за 5 сут после взрыва 22.12.19 – 26.12.19; *в* — за месяц после взрыва 22.12.19 – 21.01.20

Основными технологическими операциями, вызывающими увеличение количества толчков и их максимальную энергию являются взрывы по образованию компенсационного пространства и горизонта подсежки блоков [13–15]. Больше количество толчков происходит после взрывов по образованию подсежки разворотами и первого-третьего взрывов по формированию камер. Максимальная активность наблюдалась во время подготовки блока 11 в этаже –350 ÷ –280 м и отработки блока 5 в этаже –280 ÷ –210 м.

Взрывы по подготовке блоков на Северо-Западном участке сопровождаются большим количеством толчков, кроме того сейсмический эквивалент этих взрывов значительно превышает вес взрывааемых ВМ, что объясняется совмещением взрывов и ростом концентрации напряжений в междукамерных целиках Северо-Западного участка месторождения.

Для наблюдения за НДС на шахте оборудовано 14 станций глубинных реперов на участках Восточном, Юго-Восточном и Северо-Западном, на гор. –70 м, –210, –280 и –350 м. По данным этих реперных станций контролируется и оценивается состояние больших участков массива пород на эксплуатируемых горизонтах и также процесс формирования условий для проявления горных и горно-тектонических ударов на основе прямых измерений сдвижений и деформаций глубинных реперов, и изменением горно-геологической и горно-технологической обстановки во время ведения горных работ. Максимальные деформации сжатия горных пород характерны для центральной части в районе рудных тел под днищем выработанного пространства.

Горизонт –70 м станция № 5 (штрек № 1), станция № 6 — по двум станциям в течение года геодинамическая ситуация была стабильная, колебания в пределах нормы до двух единиц. Только по станции № 5 в начале года по контуру выработки в сторону породного массива происходило накопление напряжения. После взрыва блока № 2 панели 2, 3 секции 1 в этаже ±0 ÷ –70 м 11.11.2018 по станции № 5 произошло сжатие по породным реперам и растяжение — по рудным. Реперы на станции № 6 остались неподвижны после проведения взрывов. По станции № 6 (ЮКК) в течение данного периода отмечаются колебательные изменения напряжений в положительной зоне растяжений и в отрицательной зоне сжатия (рис. 5).

В реперной станции № 13 (орт № 12) сохранился один репер в сторону породного массива и два — в рудную сторону. В течение года прослеживается постепенное увеличение сдвижения на 4 мм (рис. 6)

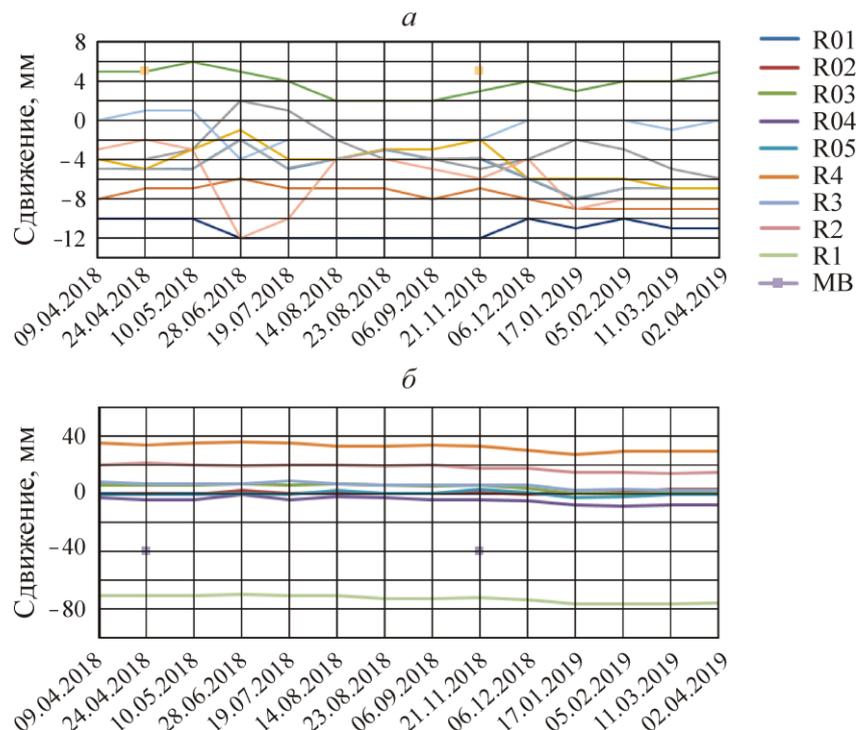


Рис. 5. Станция: а — № 5, гор. –70 м штрек № 4; б — № 6, гор. –70 м

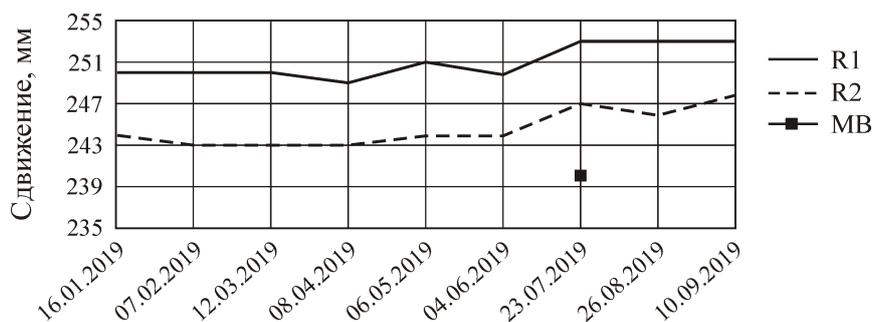


Рис. 6. Станция № 13, гор. –210 м, орт 12, СЗПШ

ВЫВОДЫ

На основе комплексной оценки удароопасности горных пород установлено, что наиболее многочисленным видом проявлений горного давления являлись толчки, уровень геодинамической активности высокий. Нарушения горных выработок происходили в основном в ортах и нарезных выработках, находящихся в проходке на Восточном участке, на Северо-Западном участке месторождения — в блоках. Причиной наибольших нарушений в выработках явилась подготовка блока № 5, 11, 02; блоков 10-12 СЗУ, а также взрывы по подготовке к обрушению блока 22-23 рудного тела 10 на юге Восточного участка. Положение зон сжатия и растяжения оставалось стабильным, деформации не достигали опасных значений;

Взрывы по обрушению блоков и по формированию очистных камер, а также совмещение по времени взрывов по подготовке блоков являются основным фактором, влияющим на напряженно-деформированное состояние массива. Рост напряжений вокруг образуемых очистных камер в условиях высокого давления приводит к мощным толчкам с обрушением бортов камер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Veselov A. I.** Change with depth of mining and geological conditions for the development of iron ore deposits of Mountain Shoria and Khakassia, Ore Deposits. Mineralogy. Geochemistry, Collection, Tomsk State University, Tomsk, 2003, pp. 35–45. (in Russian) [**Веселов А. И.** Изменение с глубиной горно-геологических условий разработки железорудных месторождений Горной Шории и Хакасии // Рудные Месторождения. Минералогия. Геохимия: сборник ТГУ. — Томск, 2003. — С. 35–45.]
2. **Veselov A. I., Filippov P. A., Scherbakov V. A., and Meer V. L.** Geology, material composition, products from ores of the Sheregeshevsky deposit and ways of its rational use, Science and technological progress, Kemerovo: SINTO, 2002, pp. 288–292. (in Russian) [**Веселов А. И., Филиппов П. А., Щербаков В. А., Меер В. Л.** Геология, вещественный состав, продукция из руд Шерегешевского месторождения и пути ее рационального использования // Наука и технический прогресс. — Кемерово: СИНТО, 2002. — С. 288–292.]
3. **Stirtz V. A., Eremenko A. A., Konurin A. I., and Klishin I. V.** Experience for forecasting geodynamic phenomena in mass explosions, Mining Information and Analytical Bulletin, 2015, no. 7, pp. 196–206. (in Russian) [**Штирц В. А., Еременко А. А., Конурин А. И., Клишин И. В.** Опыт прогноза геодинамических явлений при массовых взрывах // ГИАБ. — 2015. — № 7. — С. 196–206.]
4. **Rasskazov I. Yu., Saksin B. G., Usikov V. I., and Potapchuk M. I.** Rock mass geodynamics and mining-induced rockbursting at Nikolaev complex deposit, Mining Journal, 2016, no. 12, pp. 13–19. [**Рассказов И. Ю., Саксин Б. Г., Усиков В. И., Потапчук М. И.** Геодинамическое состояние массива пород Николаевского полиметаллического месторождения и особенности проявления удароопасности при его освоении // Горный журнал. — 2016. — № 12. — С. 13–19.]

5. **Konurin A. I., Eremenko A. A., and Filippov V. N.** Features of assessing the state of a rock massif during industrial explosions and geodynamic phenomena, *Mining Information and Analytical Bulletin*, 2017, no. 7, pp. 153–160. (in Russian) [**Конурин А. И., Еременко А. А., Филиппов В. Н.** Особенности оценки состояния массива горных пород при промышленных взрывах и геодинамических явлениях // ГИАБ. — 2017. — № 7. — С. 153–160.]
6. **Tyupin V. N.** Estimation of critical depth of deposits by rock bump hazard condition, *Journal of Mining Institute*, 2019, vol. 236, pp. 167–171.
7. **Collins B. D., Stock G. M., and Eppes M. C.** Relaxation Response of Critically Stressed Macroscale Surficial Rock Sheets, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 52(12), pp. 5013–5023.
8. **Wu S., Wu Z., and Zhang M.** Rock burst prediction probability model based on case analysis, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2019, no. 93.
9. **Eremenko A. A., Gakhova L. N., Konurin A. I., Koltyshev V. N., Prib V. V., and Uzun E. E.** Assessment of the geomechanical state of a rock mass during mining of two close ore bodies at the Sheregeshevskoye deposit, *Mining Information and Analytical Bulletin*, 2018, no. 1, pp. 67–75. (in Russian) [**Еременко А. А., Гахова Л. Н., Конурин А. И., Колтышев В. Н., Приб В. В., Узун Е. Е.** Оценка геомеханического состояния массива горных пород при отработке двух сближенных рудных тел на Шерегешевском месторождении // ГИАБ. — 2018. — № 1. — С. 67–75.]
10. **Eremenko A. A., Konurin A. I., Shtirts V. A., and Prib V. V.** Identification of higher rock pressure zones in rockburst-hazardous iron ore deposits, *Mining Journal*, 2020, no. 1, pp. 78–81. (in Russian) [**Еременко А. А., Конурин А. И., Штирц В. А., Приб В. В.** Выявление зон повышенного горного давления на удароопасном железорудном месторождении // Горный журнал. — 2020, — №1. — С. 78–81.]
11. **Kelly B.** Stress analysis for boreholes on department of defense lands in the western United States: A study in stress heterogeneity, *Proceedings, Thirty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Stanford, California, February 11-13, 2013, pp. 139–150.
12. **Eremenko V. A. and Neguritsa D. L.** Efficient and active monitoring of stresses and strains in rock masses, *Eurasian Mining*, 2016, no. 1 (25), pp. 21–24.
13. **Reiter K. and Heidbach O.** 3-D geomechanical-numerical model of the contemporary crustal stress state in the Alberta Basin (Canada), *Solid Earth*, 5 (2), 2014, pp. 1123–1149.
14. **Gunzburger Y. and Magnenet V.** Stress inversion and basement-cover stress transmission across weak layers in the Paris basin, France, *Tectonophysics*, 2014, vol. 617, pp. 44–57.
15. **Balg C., Roduner A., and Geobrugg A. G.** Ground support applications, *Int. Ground Support Conf. AGH University*, Lungern, Switzerland, 11-13 September, 2013.