



**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПАСНЫХ ЗОН ОТ КРАЕВЫХ ЧАСТЕЙ ОЧИСТНОГО ПРОСТРАНСТВА
ПРИ ПОДЭТАЖНОЙ СИСТЕМЕ РАЗРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ
ТАШТАГОЛЬСКОГО И ШЕРЕГЕШЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

А. И. Конурин¹, В. А. Штирц², Е. А. Христолюбов³

¹*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: eremenko@ngs.ru,
Красный проспект 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

²*Шахта Таштагольская, АО “ЕВРАЗ ЗСМК”, E-mail: Vladimir.Shtirts@evraz.com,
ул. 20-го Партсъезда 11Б, г. Таштагол 652971, Россия*

³*Шахта Шерегешевская, АО “ЕВРАЗ ЗСМК”, E-mail: Evgeny.Khristolubov@evraz.com,
ул. Советская 1а, п. Шерегеш 652971, Россия*

Выполнен анализ напряженно-деформированного состояния горных пород и степени удароопасности на Таштагольском и Шерегешском месторождениях ОА “ЕВРАЗ ЗСМК” при проведении массовых и технологических взрывов. Дана оценка геодинамического состояния массива горных пород в районе расположения зоны максимума опорного давления. Установлены зоны распределения толчков с различной сейсмической энергией в массиве при подготовке и отработке блоков. Определено влияние тектонических нарушений впереди фронта ведения очистных работ на геомеханическое состояние горных пород в шахтном поле. Разработана методика расчета и построения зон повышенного горного давления, которая позволяет находить местоположение опасных зон в зависимости от мощности рудных тел, главных горизонтальных напряжений, предела прочности пород на сжатие и др. при отработке одновременно нескольких тел на удароопасных месторождениях.

Месторождения, руда, технологии, горные работы, напряженное состояние, опасные зоны, динамические явления, горный удар, безопасность горных работ

**DETERMINATION OF ROCKBURST-HAZARDOUS ZONES
FROM THE EDGE PARTS OF THE STOPING AREA IN SUBLEVEL MINING SYSTEM
UNDER CONDITIONS OF THE TASHTAGOL AND SHEREGESH DEPOSITS**

A. I. Konurin¹, V. A. Shtirts², and E. A. Khristolyubov³

¹*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: eremenko@ngs.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091, Russia*

²*Mine Tashtagol, JSC “EVRAZ ZSMK”, E-mail: Vladimir.Shtirts@evraz.com,
ul. 20th Partsyezda 11B, Tashtagol 652971, Russia*

³*Mine Sheregesh, JSC “EVRAZ ZSMK”, E-mail: Evgeny.Khristolubov@evraz.com,
ul. Sovetskaya 1a, Sheregesh 652971, Russia*

The stress-strain state of rocks and rockburst-hazard degree at the Tashtagol and Sheregesh deposits of “EVRAZ ZSMK” were analyzed during large-scale and technological blasts. The geodynamic state of the rock mass in the maximum bearing pressure zone is estimated. The zones of the distribution of shocks with different seismic energy in the rock mass during the preparation and mining of blocks are determined. The influence of tectonic disturbances ahead of the stoping front on the geomechanical condition of rocks in the mine field is determined. The developed methodology for calculating and constructing zones of increased rock pressure allows determining the location of hazardous zones depending on thickness of ore bodies, main horizontal stresses, ultimate compressive strength of rocks, etc., when mining several bodies simultaneously in rockburst-hazardous deposits.

Deposits, ore, technologies, mining operations, stress state, hazardous zones, dynamic phenomena, rockburst, mining safety

Современный этап обработки рудных месторождений Западной Сибири характеризуется переходом горных работ к освоению участков, которые находятся в сложных горно-геологических условиях, расположены в сближенных рудных телах, рудных телах, залегающих на небольшом расстоянии от земной поверхности под водными объектами, в целиках, оставленных для ограничения деформаций массива в окрестности производственных и природных объектов. Ведение горных работ в таких условиях требует особых мер контроля напряженного состояния вмещающего и рудного массивов, деформаций земной поверхности. В тектонически и сейсмически активных районах Алтае-Саянской складчатой горной области подземным способом разрабатывается ряд крупных рудных месторождений, таких как Таштагольское, Шерегешевское, Абаканское и др. Регион отличается высоким уровнем сейсмической активности, обусловленный тектоническими процессами и ростом уровня напряжений в массиве горных пород [1–4].

Освоение глубоких горизонтов обострило проблемы прогноза и предотвращения горных ударов, наносящих значительный материальный ущерб промышленным предприятиям и объектам, находящимся в зонах влияния очистных пространств. Предупреждение появления динамически опасных зон и ограничение влияния уже имеющихся очагов сейсмических и динамических явлений — непереносимое условие успешного развития горнопромышленных регионов Сибири.

Для разработки методики определения опасных зон от краевых частей очистного пространства выполнен анализ динамических явлений, возникающих в пределах шахтного поля Таштагольского и Шерегешевского месторождений, за период 2012–2019 гг. Для первичной обработки сигналов на сейсмостанции “Таштагол” применяется аппаратура селекции и накопления сейсмических сигналов АСН-7Ш-32. Для полной записи сигналов с энергией выше 1000 Дж, записи сейсмических событий, происходящих за пределами рудного поля, а также сигналов с шахт Горно-Шорского филиала привлекалась аппаратура, предназначенная для непрерывной записи состояния массива, — “Байкал”. На Шерегешевском месторождении комплекс методов включает следующие региональные и локальные мероприятия: микросейсмический контроль на базе сейсмостанции, электропрофилирование, подземное электроразведывание на малых и крупных базах, измерение деформаций и регистрацию ЭМИ.

При анализе распределения геодинамических явлений при отработке блоков видно, что сейсмические события локализируются в области расположения максимума зоны опорного давления (ЗОД). Распределение толчков в области местоположения ЗОД при отработке блоков на Таштагольском месторождении показано на рис. 1.

С другой стороны, при бурении керновых скважин также видно, что повышенное дискование керна наблюдается в области расположения максимума зоны опорного давления (рис. 2). Это связано с повышенными напряжениями, действующими в этой области в результате перераспределения исходного поля напряжений в массиве из-за ведения очистных и проходческих работ [5–11].

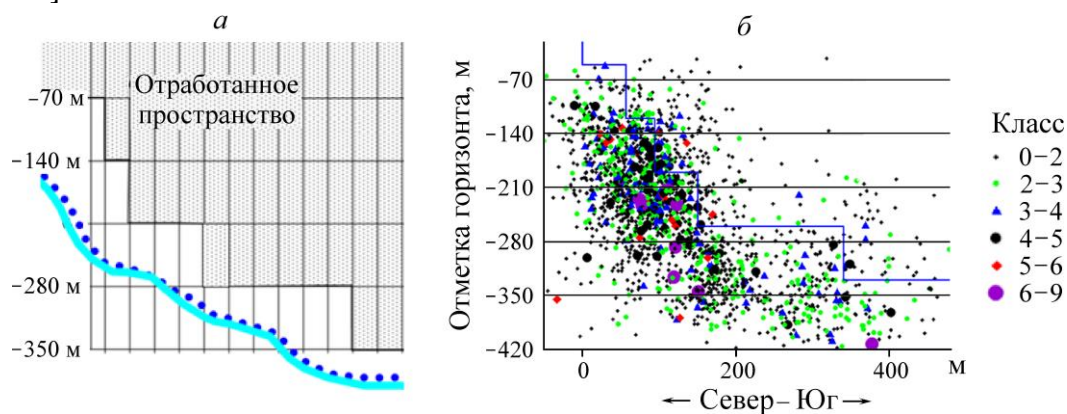


Рис. 1. Схема зоны опорного давления на Восточном участке Таштагольского месторождения (а) и проекция распределения сейсмособытий по простиранию (б)



Рис. 2. Повышенное дискование керна в области зоны опорного давления (23–42 м)

Согласно выполненному анализу керна из скважин, выбуренных в направлении ЗОД, и данных микросейсмического мониторинга с учетом горно-геологических, тектонических и других особенностей Шерегешевского и Таштагольского месторождений (наличие блочного строения массива, тектонических нарушений, неоднородности напряженного поля в нетронутом массиве), а также горнотехнических условий отработки, ширину опасной зоны S от очистного пространства, которая располагается в ЗОД, допускается рассчитывать по эмпирической формуле: $S = 25 + H / 80$ м, где H — глубина ведения горных работ. Для Шерегешевского месторождения она составляет 30, 31, 32 м для глубин 385, 455, 525 м соответственно, для Таштагольского — 30, 31, 32, 33, 34 и 35 м для глубин 450, 520, 590, 660, 730 и 800 м. При этом в случае наличия над отработываемым(и) блоком(ами) выработанного пространства граница опасной зоны лежит на удалении от него.

В процессе отработки одиночной рудной залежи построение границы опасной зоны осуществляют в соответствии с рис. 3 [12]. В плоскости, перпендикулярной направлению горных работ, по защитному слою проводят прямую в сторону почвы (кровли) под углом β , определяемым в зависимости от t — отношения критической глубины H_0 к глубине разработки защитного слоя H . При t , равном 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, значение β составляет соответственно 20, 35, 42, 52, 58, 64°.

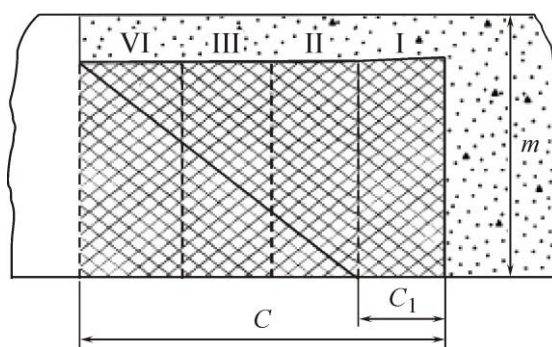


Рис. 3. Построение защищенной зоны при опережающей надработке рудного тела

Минимальную величину опережения защитного слоя C для полной защиты вынимаемых блоков (панелей, полос, лент, секций) вычисляют по формуле:

$$N = n \times C_1 + m \times \operatorname{tg} \beta, \quad \beta \neq 90^\circ,$$

где n — количество защищаемых блоков (панелей, полос, лент); C_1 — ширина защищаемого блока (панели, полосы, ленты); m — отработываемая мощность рудного тела.

Согласно [10], критическая глубина по условию удароопасности для Таштагольского месторождения составляет 400 м, для Шерегешевского — 600 м. Значения параметров t и β в зависимости от глубины отработки показаны в таблице.

Значения коэффициентов удароопасности в зависимости от глубины

Параметр	Шерегешевское месторождение			Таштагольское месторождение					
	255	185	115	0	-70	-140	-210	-280	-350
Горизонт, м	255	185	115	0	-70	-140	-210	-280	-350
Глубина, м	385	455	525	450	520	590	660	730	800
t	1.56	1.32	0.7	0.88	0.77	0.70	0.60	0.55	0.50
β , град	—	—	—	63	56	52	42	39	35

Построение границы защищенной зоны в массиве горных пород в текущем этаже начинается от границы защищенной зоны вышележащего этажа. При отработке блоков системами с закладкой выработанного пространства границы защищенной зоны строятся от границ искусственного массива в противоположные стороны (в сторону закладочного массива) с углами β согласно таблице.

Если напряжения в нетронутом массиве преобладают над вертикальными, то построение защищенных зон осуществляют с учетом действующих главных напряжений по условию

$$\max |\sigma_1, \sigma_2| < \sigma_p,$$

где σ_1, σ_2 — значения главных напряжений в массиве; σ_p — максимальное радиальное напряжение.

$$\sigma_{кр} = k_1 \gamma H \begin{cases} 1; & \text{при } \lambda > 1, \alpha \leq 45^\circ \text{ или } \lambda \leq 1, \alpha \geq 45^\circ, \\ k_2 / k_1; & \text{при } \lambda \leq 1, \alpha \leq 45^\circ \text{ или } \lambda > 1, \alpha \geq 45^\circ, \end{cases}$$

где λ — отношение горизонтальных напряжений в нетронутом массиве к вертикальным; α — угол падения обрабатываемой залежи на разрезе вкрест простирания; γ — средневзвешенный объемный вес горных пород, k_1, k_2 — коэффициенты бокового давления, $\sigma_{кр}$ — критическое напряжение для расчета опасных зон.

Защищенные зоны на участках Шерегешевского месторождения показаны на рис. 4. Следует отметить, что горные работы на месторождении ведутся выше критической глубины по условию удароопасности, что практически исключает возможность интенсивного проявления горного давления в динамической форме.

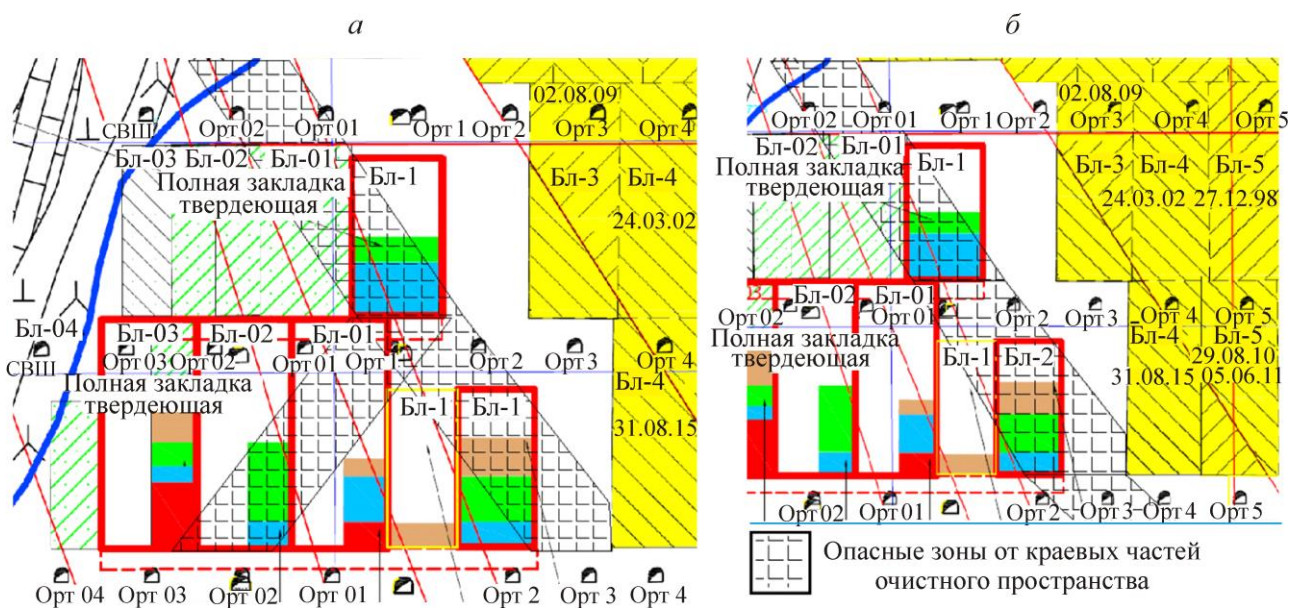


Рис. 4. Опасные зоны от краевых частей очистного пространства для Восточного участка Таштагольского месторождения для системы разработки: а — с твердеющей закладкой; б — с обрушением

Опасные зоны от краевых частей очистного пространства для Восточного участка Таштагольского месторождения для систем разработки с твердеющей закладкой и с обрушением представлены на рис. 5

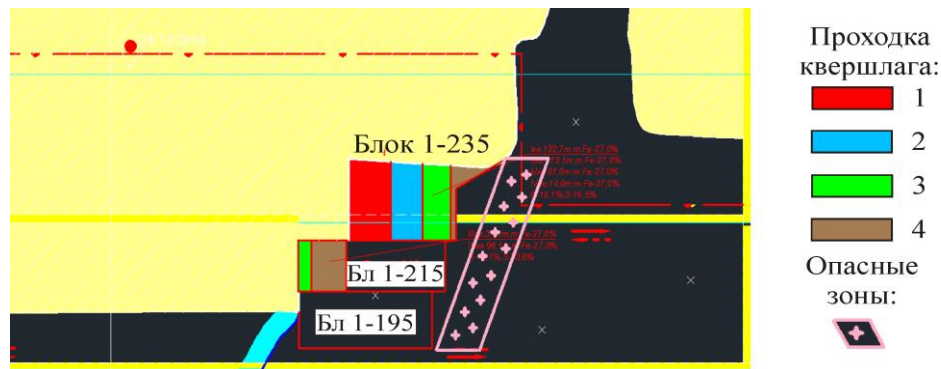


Рис. 5. Защищенные зоны на Главном участке Шерегешевского месторождения

ВЫВОДЫ

Дана оценка геодинамического состояния массива горных пород в области расположения зоны максимума опорного давления, на распределение которой оказывают влияние горно-геологическая и геомеханическая характеристики. Особая роль отводится технологии ведения очистных работ, при которых увеличивается объем выработанного пространства с углублением горных работ и проводятся взрывы различной интенсивности как в рудных телах, так и в предохранительных целиках.

Выявлено, что опасные зоны постоянно мигрируют в массиве горных пород и определяются параметрами поля напряжений, размерами и конфигурациями очистных пространств, деформационно-прочностных свойств массива вмещающих пород, способами воздействия на рудное тело и др. Установлены районы расположения удароопасных зон методом кернового бурения и микросеймики. Определена глубина расположения зоны максимальных напряжений в массиве в зависимости от мощности рудного тела, сцепления горных пород, угла внутреннего трения, главных напряжений, количества этажей, времени отработки этажа и годовой производительности рудника.

Разработана методика расчета и построения зон повышенного горного давления при отработке блоков с учетом горно-геологических, геомеханических условий отработки Шерегешевского и Таштагольского месторождения. Определены опасные и защищенные зоны. Предложены профилактические мероприятия для формирования защищенной зоны, включающие бурение скважин увеличенного диаметра, формирование временных податливых целиков и др. Исследование показало, что на Шерегешевском месторождении в блоках, планируемых к отработке на 2020 г подэтажной системой разработки, на гор. +255, +185, +115 отсутствуют опасные зоны от краевых частей очистного пространства. При переходе горных работ на более глубокие горизонты рекомендуется дополнительно изучить возможность появления таких зон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Stirtz V. A., Eremenko A. A., Konurin A. I., and Klishin I. V. Experience for forecasting geodynamic phenomena in mass explosions, Mining Information Analytical Bulletin, 2015, no. 7, pp. 196–206. (in Russian) [Штирц В. А., Еременко А. А., Конури́н А. И., Клишин И. В. Опыт прогноза геодинамических явлений при массовых взрывах // ГИАБ. — 2015. — № 7. — С. 196–206.]

2. **Seryakov V. M., Seryakov A. V., and Pesterev A. V.** The stress state of the enclosing rocks during the mining of ore sections of the Sheregeshevskoye deposit, *Mining Information Analytical Bulletin*. 2000, no. 2, pp. 76–80. (in Russian) [**Серяков В. М., Серяков А. В., Пестерев А. В.** Напряженное состояние вмещающих пород при обработке рудных участков Шерегешевского месторождения // ГИАБ. — 2000. — № 2. — С. 76–80.]
3. **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., Конури́н А. И., Шти́рц В. А., Приб В. В.** Выявление зон повышенного горного давления на удароопасном железорудном месторождении // Горный журнал. — 2020. — № 1. — С. 78–81.]
4. **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, Collection of scientific papers*, Kemerovo, SINTO, 2002, pp. 288–292. (in Russian) [**Веселов А.И., Филиппов П. А., Щербakov В. А., Meer В. Л.** Геология, вещественный состав, продукция из руд Шерегешевского месторождения и пути ее рационального использования // Наука и технический прогресс: сб. науч. трудов. — Кемерово: СИНТО, 2002. — С. 288–292.]
5. **Eremenko A. A., Shaposhnik Y. N., Filippov V. N., and Konurin A. I.** Development of scientific framework for safe and efficient geotechnology for rockburst-hazardous mineral deposits in western Siberia and the far north, *Mining Journal*, 2019, no. 10, pp. 33–39 (in Russian) [**Еременко А. А., Шапошник Ю. Н., Филиппов В. Н., Конури́н А. И.** Развитие научных основ безопасной и эффективной геотехнологии при освоении удароопасных месторождений Западной Сибири и Крайнего Севера // Горный журнал. — 2019. — № 10. — С. 33–39.]
6. **Nazarova L. A., Zakharov V. N., Nazarov L. A., Protasov M. I., and Nikolenko P. V.** Stress evolution and induced seismicity in mining: Lab test, observation and modeling, *Rock Dynamics & Experiments, Theories and Applications – Proceedings of the 3rd International Conference on Rock Dynamics and Applications, ROCDYN-3*, 2018, pp. 461–467.
7. **Eremenko V. A., Esina E. N., and Semenyakin E. N.** Technology of dynamic monitoring of stresses and strains in rocks under mining, *Mining Journal*, 2015, no. 8, pp. 42–47 (in Russian) [**Еременко В. А., Есина Е. Н., Семенякин Е. Н.** Технология оперативного мониторинга напряженно-деформированного состояния разрабатываемого массива горных пород // Горный журнал. — 2015. — № 8. — С. 42–47.]
8. **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.
9. **Wu S., Wu Z., and Zhang M.** Rock burst prediction probability model based on case analysis, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 93, 103069.
10. **Тюпин В. Н.** Estimation of critical depth of deposits by rock bump hazard condition, *Journal of Mining Institute*, 2019, pp. 167–171. [**Тюпин В. Н.** Оценка критической глубины залежей по удароопасности // Записки Горного института. — 2019. — С. 167–171.]
11. **Rasskazov I. Yu., Saksin B. G., Usikov V. I., 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.]
12. **Federal norms and rules in the field of industrial safety** “Regulation on the safe conduct of mining at deposits prone and dangerous in mountain impacts” were approved by order of the Federal Service for Ecological, Technological and Nuclear Supervision of December 2, 2013, no. 576. (in Russian) [**Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности** “Положение по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам”, утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 2 декабря 2013 г. — № 576.]