



**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КРУПНОГО ТЕКТОНИЧЕСКОГО НАРУШЕНИЯ В МАССИВЕ
МЕЖДУ РУДНЫМИ ТЕЛАМИ НА ВЫСВОБОЖДЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
ТОЛЧКОВ ПРИ ПРИРОДНОМ И ТЕХНОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

Е. А. Христюбов¹, В. А. Штирц², А. А. Еременко³

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

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

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

Проведена оценка влияния крупного тектонического нарушения на интенсивность сейсмических и геодинамических явлений. Установлена геодинамическая активность при отработке рудных участков Шерегешевского месторождения. Определены напряжения и зоны неупругих деформаций, энергия толчков в породном целике между рудными участками.

Тектоническое нарушение, энергия, геодинамическое явление, толчок, массив, рудное тело, горные работы

**ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF A LARGE-SCALE TECTONIC DISTURBANCE
IN A ROCK MASS BETWEEN ORE BODIES ON THE RELEASE OF SEISMIC SHOCK ENERGY
UNDER NATURAL AND MAN-INDUCED EFFECTS**

E. A. Khristolyubov¹, V. A. Shtirts², and A. A. Eremenko³

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

²*Mine Tashtagol, JSC EVRAZ ZSMK, E-mail: Vladimir.Shtirts@evraz.com,
ul. 20th Partsyezda 11B, Tashtagol 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 effect of a large-scale tectonic disturbance on the intensity of seismic and geodynamic phenomena is assessed. Geodynamic activity was determined when mining ore sections of the Sheregesh deposit. The stresses and zones of inelastic deformations, shock energy in a rock pillar between the ore sections are determined.

Tectonic disturbance, energy, geodynamic phenomenon, shock, rock mass, ore body, mining operations

Разрывная тектоника Шерегешевского месторождения развита и представлена крупными разрывными нарушениями сбросо-сдвигового типа с углами падения 40–85° и амплитудами смещения 40–300 м. Разломы, разделяющие участки Главный, Болотный, Новый Шерегеш, Подрусловый, Новая Промплощадка, Северный Шерегеш, проявляются с одинаковым северо-восточным простиранием и равными амплитудами смещения (рис. 1).

Кроме дизъюнктивных нарушений большое развитие на месторождении получили зоны интенсивной трещиноватости которые фиксируются по горным выработкам и отмечаются в виде многочисленных тектонических трещин с различными углами падения и простирания, расщеплением, дроблением, брекчированием и смятием руд и вмещающих пород. Мощность зон по горным выработкам колеблется от нескольких до десятков метров как со смещением

пород и рудных тел, так и без смещения [2, 3]. Тектонические нарушения в процессе своего развития неоднократно подновлялись с образованием зон трещиноватости, дробления, брекчирования, тектонической глины, зеркалов скольжения или залечивались кальцитом, материалом смятия [4, 5]. Основные параметры блочной структуры приведены в таблице.

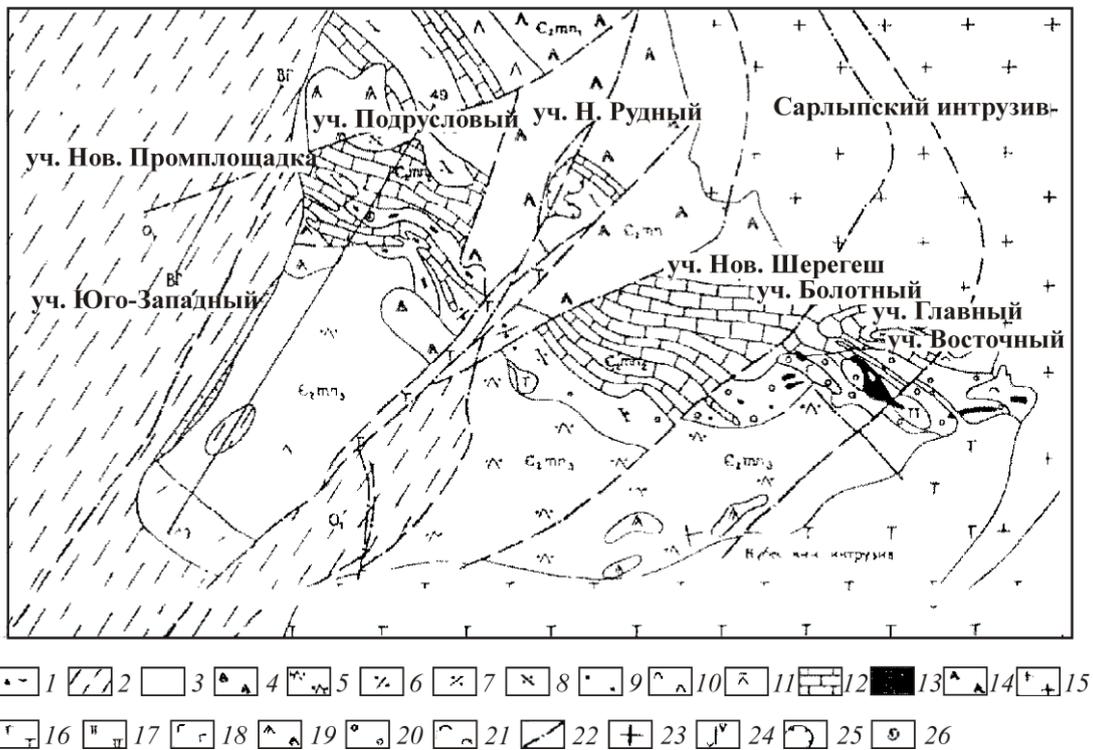


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Шерегешевского месторождения (по материалам ПГО “Запсибгеология” [1]): четвертичная система: 1 — делювиальные отложения; Ордовикская система: 2 — алевролиты сланцы, 3 — песчаники; Кеморийская система, средний кембрий, мундыбашская свита, верхняя подсвита (C_2mp_3), 4 — андезито базальтовые порфириды, их лавобрекчии, агломератовые туфы; 5 — грубообломочные туфы порфиридов, 6 — тонкообломочные туфы порфиридов, средняя подсвита (C_2mp_2); 7 — туфы трахитовых порфиридов средне- крупнообломочные, 8 — туффиты трахитовых порфиром разнообломочные, массивные, 9 — туфогенные песчаники, алевропесчаники тонкослоистые иногда с прослоями известняка, мергеля с фауной трилобитов, брахиопод; 10 — туфы трахиандезитовых порфиридов мекообломочные, массивные и слоистые; 11 — туффиты трахиандезитовых порфиридов мелкообломочные, массивные и слоистые; 12 — известняки мраморизованные массивные слоистые с линзами известняковых брекчий; 13 — магнетитовые руды нижняя подсвита (C_2mp_3); 14 — трахиандезитовые порфириды, лавобрекчии, агломератовые туфы, интрузивные и субвулканические образования; 15 — граниты; 16 — сиениты Кубесского массива; 17 — сиениты; 18 — габбро, диориты; 19 — субвулканические пироксен-плаггиоклазовые порфириды, метаморфиты; 20 — скарны, скарнированные породы; 21 — роговики, ороговикованные породы, разное; 22 — линии разрывных нарушений; 23 — оси дополнительных складок; 24 — линии разведочных профилей; 25 — контур карьера; 26 — место нахождения фауны

Параметры блочной тектонической структуры Шерегешевского месторождения

Номер блока	Рудный участок	Горизонт, м	Размеры блоков I порядка, м		Форма блока	Ориентировка длинной оси блока, °	Количество блоков II порядка
			длина	ширина			
I	Подрусловый, Новая Промплощадка	+ 325	1800	1300	Неправильная прямоугольная	55	5
II	Новый Шерегеш	+ 325	2700	1800	Неправильная четырехугольная	45	3

В каждом тектоническом блоке I порядка размещаются от 3 до 6 тектонических блоков II порядка с размерами сторон 120×140 м, сложной, прямоугольной, треугольной неправильной формы. Таким образом, наиболее вероятными удароопасными участками являются геодинамические зоны сжатия в блочной структуре массива и зоны их влияния. Наибольшее их количество приурочено к целику между участками Подрусловый и Новый Шерегеш.

Между участками Подрусловый и Новый Шерегеш расположено крупное тектоническое нарушение. При отработке участка Новый Шерегеш геодинамические явления сосредотачиваются на различных горизонтах данного участка. При совместной отработке участков Подрусловый и Новый Шерегеш часто в районе тектонического нарушения регистрируются толчки с энергией $10^2 - 10^3$ Дж и более (рис. 2).

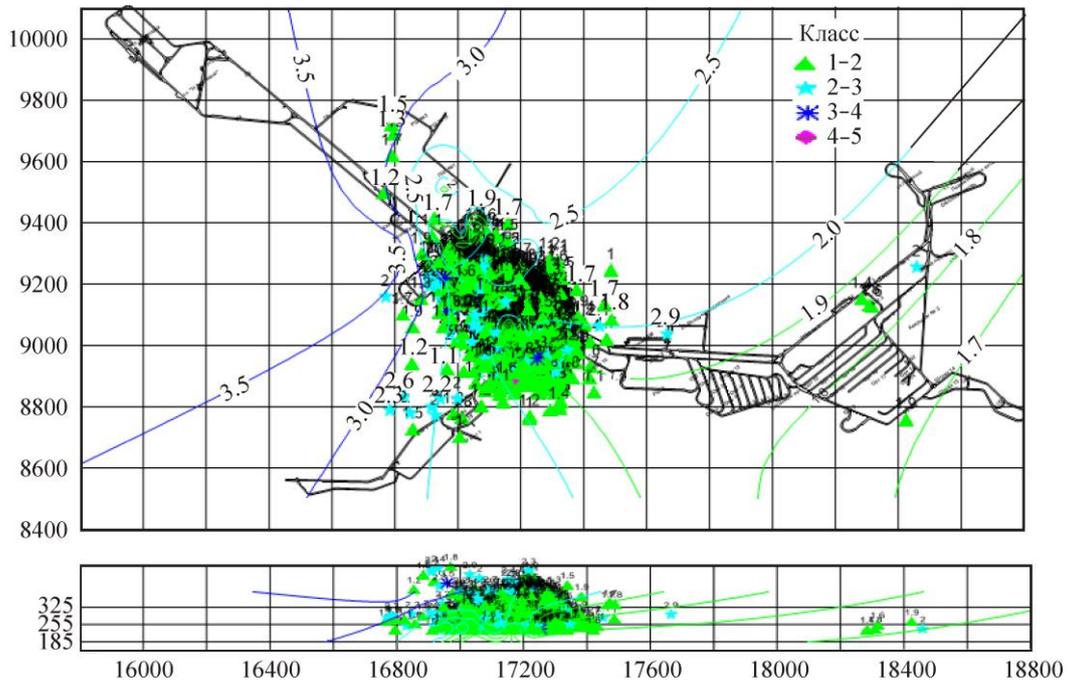


Рис. 2. Расположение толчков в районе тектонического нарушения в плане и разрезе: 1 ÷ 3.5 — энергетический класс толчков; 15800 ÷ 18800 и 8400 ÷ 10000 — координаты X и Y; 185 ÷ 325 — горизонт; 15 800 ÷ 18 600 — координаты X

В 2019 г. на шахте “Шерегешская” очистные работы велись на гор. +115 м, +120, +142, +185, +195, +200, +219, +230 м, +235 м. С начала года добыто 4 469 784 т сырой руды, произведено концентрата 2 320 169 т. Подготовительно-нарезные работы велись на участках “Главный”, “Новый Шерегеш” и “Подрусловый” на гор. +115 м, +120, +142, +160, +185, +195, +200, +219, +230, +235, +255 м. Пройдено 11 791.1 п. м, из них подготовительных — 2 550.4 п. м, нарезных — 8 869.7, капитальных — 371 п. м.

Буровые работы осуществлялись на гор. +120 м, +142, +185, +195, +200, +219, +230, +235, +255 м — 521 938 глубоких скважин. Из них: $d = 105$ мм — 9 374 п. м, $d = 89$ мм — 512 402 п. м Крепежные работы: всего 85 103 м², из них сталеорганическое крепление — 1 245 м²; крепление анкерами СЗА — 80 154 м²; торкретбетон — 3 555 м²; железобетон — 149 м³.

Произведено 1157 технологических взрывов. С начала года в очистную добычу введено шесть блоков — №№ 2-200; 3-195; 2-160; 1-120 уч. Новый Шерегеш и №№ 8-11-120; 1-115 уч. Подрусловый [6, 7]. Аппаратурой микросейсмического и сейсмоакустического мониторинга “Релос-64” зарегистрировано 26088 сейсмических сигнала, из них 8 471 толчков. Зоны сейсмической активности после массовых взрывов располагаются в зонах геологических нару-

шений и региональных разломов, активизирующихся при подготовке блоков к отработке. Основная геодинамическая активность отмечена на участке Новый Шерегеш, где зарегистрировано 8 372 толчка, на участке Подрусловый — 86 толчков.

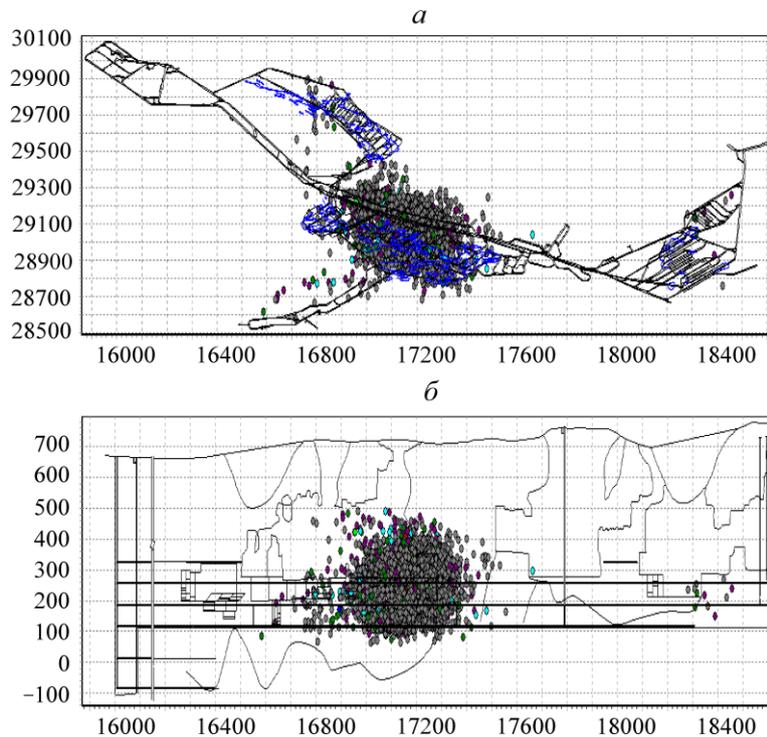


Рис. 3. Карты сейсмической активности на участке Новый Шерегеш и Подрусловый: *a* — в плане; *б* — разрез

Рассмотрен процесс распределения напряжений и зон неупругих деформаций при отработке участков Подрусловый и Новый Шерегеш в районе крупного тектонического нарушения. Напряжения в массиве определяются весом пород и коэффициентом бокового отпора в ненарушенном массиве. На глубине 445 м в вертикальном направлении действует напряжение $\sigma_z = \gamma H$, где H — глубина, м; γ — удельный вес пород. В локальной системе координат горизонтальные напряжения: $\sigma_x = \lambda_1 \gamma H$; $\sigma_y = \lambda_2 \gamma H$ (λ_1, λ_2 — коэффициенты бокового отпора). Для условий месторождения интегральная характеристика $\gamma = 2.95$ г/см², $\lambda_1 = 3.8$, $\lambda_2 = 5.0$. Следовательно, для нетронутого массива на глубине $\sigma_x^0 = 49.9$, $\sigma_y^0 = 66.3$ МПа. Результаты расчетов, выполненных с применением метода граничных интегральных уравнений, представлены в виде графиков изолиний компонентов тензора напряжений σ_x, σ_y и напряжениями σ_s (сдвигающими напряжениями), сравниваемыми со сцеплением массива и позволяющими для анализа воспользоваться критерием разрушения Кулона – Мора [8, 9]

$$\sigma_s = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2 \cos \varphi} - \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \operatorname{tg} \varphi,$$

где $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ — главные напряжения; φ — угол внутреннего трения.

Поскольку сцепление массива изменяется в диапазоне 16–36 МПа, то с учетом коэффициента структурного ослабления критическая величина $\sigma_s^{\text{крит}}$ принимается для слабых пород 2 МПа ($\sigma_s \geq 2$ МПа), для крепких — 11 МПа ($\sigma_s \geq 11$ МПа). В массиве между залежами Нового Шерегеша, расположенными по простиранию основного рудного тела, $\sigma_x = -80$ МПа, $\sigma_y = -210$ МПа; градиент субгоризонтальных напряжений в межзалежном целике — $-80 \div -10$ МПа (рис. 4).

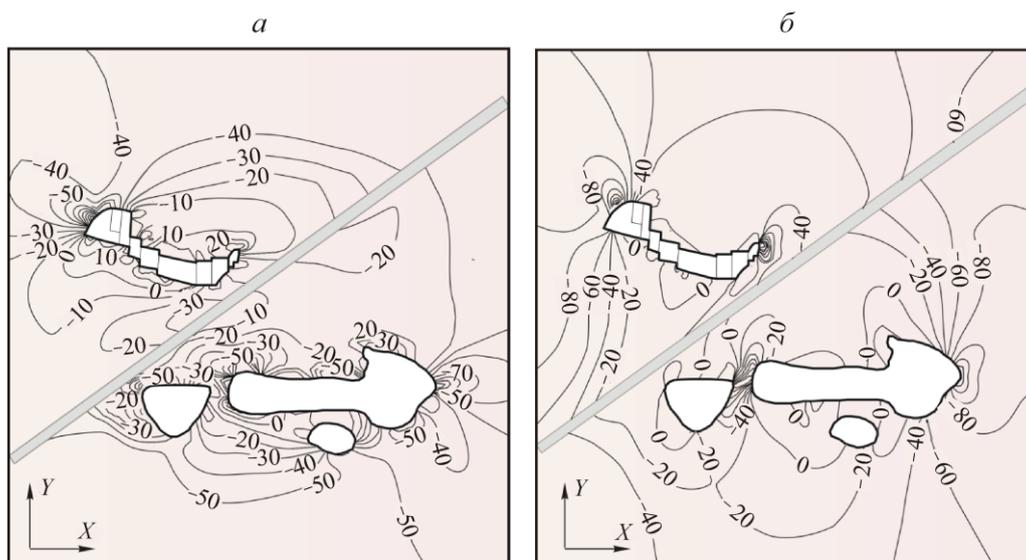


Рис. 4. Субгоризонтальные (а) и субвертикальные (б) напряжения (МПа) в локальной системе координат: а — σ_x ; б — σ_y

Области неупругих деформаций в окрестности отработанных залежей формируются вдоль протяженных границ и охватывают значительную часть массива между рудных тел залежи (рис. 5) даже в крепких породах, чему способствует наличие нарушенной зоны [10, 11].

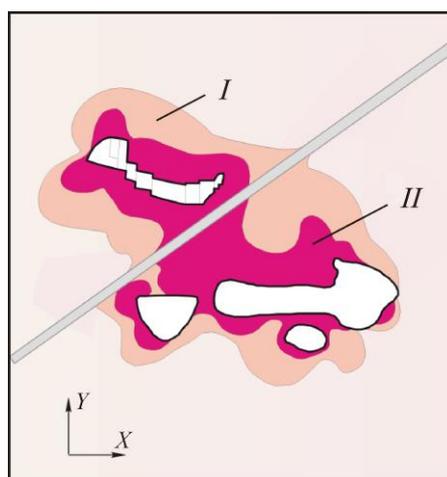


Рис. 5. Зоны неупругих деформаций в области влияния очистного пространства: I — в слабых породах; II — в крепких породах

24.01.2020 г. в 9 ч. 20 мин зарегистрированы сейсмические события с энергией энергетического класса 5.4 и 3.3, причем между данными событиями произошло 13 толчков 1.3–2.3 классов (рис. 6). По картам сейсмической активности видно, что события происходили на глубине от 344 до 485 м в горном массиве между участками Новый Шерегеш и Подрусловый: координаты X — от 29 095 до 29 338; Y — от 16 099 до 17 073; Z — от 351 до 198, где проходит геологический разлом. Гипоцентры событий установлены в массиве горных пород в высотных отметках +284 ÷ +140 м.

Следует отметить, что по сведениям геофизической службы РАН в этот период в республике Алтай произошла серия сейсмических событий магнитудой от 2.7 до 5.2. Наиболее ощутимое землетрясение почувствовали жители рядом расположенных регионов днем 24.01.2020 г. По мнению специалистов это землетрясение связано с горообразованием. В ходе обследования

горных выработок после геодинамических явлений выявлены факты заколообразования, обрушения горных пород с бортов и кровли выработок. Установлена причина происшедших толчков — региональное и локальное перераспределение напряжений в районе крупного тектонического нарушения со стороны Алтая и целика между рудными участками при наличии неравномерного поля напряжений на контактах трещин и разномодульных пород в шахтном поле Шерегешевского месторождения.

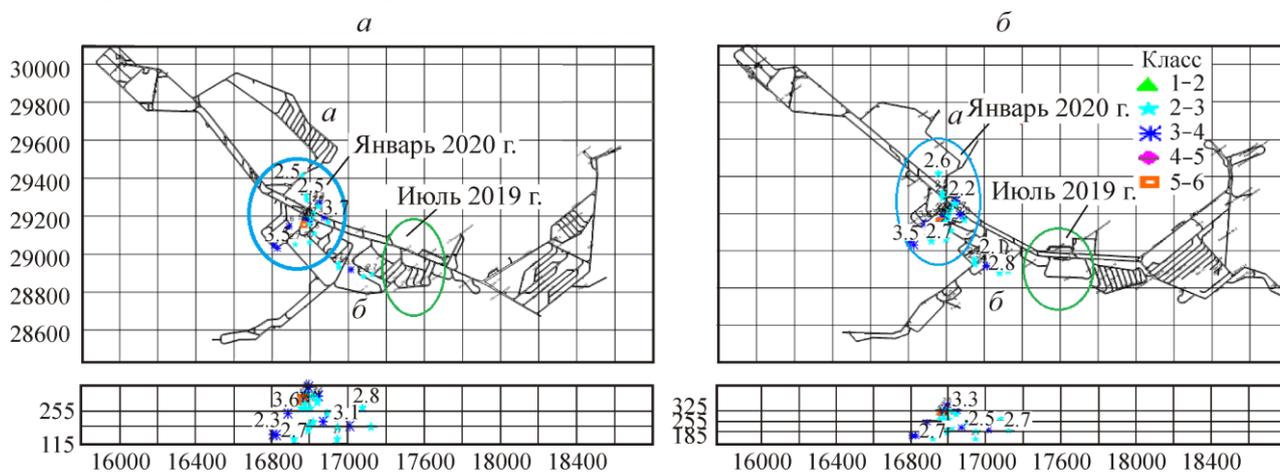


Рис. 6. Карты сейсмической активности в период сейсмической активности массива горных пород январь 2020 г.) между участками: *a* — Подрусловый (гор. +185 м); *б* — Новый Шерегеш (гор. +255 м)

ВЫВОДЫ

Разрывная тектоника Шерегешевского месторождения развита и представлена крупными разрывными нарушениями в части между участками Подрусловый и Новый Шерегеш, где периодически возникают сейсмические и геодинамические явления различной интенсивности. Установлено, что процессы горообразования в Алтае-Саянском регионе, рост напряжений в породном массиве горных пород и ведение горных работ на участках Подрусловый и Новый Шерегеш вызывают сейсмические события 1.3–5.4 энергетических классов. Определено, что зарегистрированные толчки в шахте способствуют заколообразованию и обрушению горных пород в выработках. Проведение совместных экспериментальных исследований геофизической службой отделения РАН (г. Новосибирск), ИГД СО РАН и службами ППГУ АО «Евраз ЗСМК» в части установления механизма и перераспределения сейсмических и геодинамических явлений при разработке месторождений в Горной Шории позволит разработать методику прогнозирования горных ударов и способы их предупреждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Orlov V. P. Sheregeshevskoye field, Iron ore deposits of Siberia, Collection of Scientific Papers, Novosibirsk, Nauka, 1981, pp. 158–162. (in Russian) [Орлов В. П. Шерегешевское месторождение // Железорудные месторождения Сибири: сборник науч. трудов. — Новосибирск: Наука, 1981. — С. 158–162.]
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, Collection of Scientific Papers, Kemerovo, SINTO, 2002, pp. 288–292. (in Russian) [Веселов А. И., Филиппов П. А., Щербakov В. А., Меер В. Л. Геология, вещественный состав, продукция из руд Шерегешевского месторождения и пути ее рационального использования // Наука и технический прогресс: сборник науч. трудов. — Кемерово: СИНТО, 2002. — С.288–292.]

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 (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.]
4. **Eremenko A. A., Eremenko V. A., and 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 pp. (in Russian) [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.]
5. **Tyupin V.N.** Estimation of critical depth of deposits by rock bump hazard condition, *Journal of Mining Institute*, 2019, pp. 167–171.
6. **Stirtz V. A., Eremenko A. A., Konurin A. I., and Klishin I. V.** Experience for forecasting geodynamic phenomena in mass explosions, *Mountain 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.]
7. **Rasskazov I. Yu., Saksin B. G., Usikov V. I., and Potapchuk M. I.** Rock mass geodynamics and mining-induced rockbursting at Nikolaev complex deposit, *Gornyi Zhurnal*, 2016, (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.]
8. **Guidelines** for the safe conduct of mining operations in the fields of Mountain Shoria dangerous in mountain impacts, Novosibirsk–Novokuznetsk, 2015, 73 pp. (in Russian) [Указания по безопасному ведению горных работ на месторождениях Горной Шории, склонных и опасных по горным ударам. — Новосибирск–Новокузнецк, 2015. — 73 с.]
9. **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.
10. **Collins B. D., Stock G. M., and Eppes M. C.** Relaxation Response of Critically Stressed Macroscale Surficial Rock Sheets, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2019, 52(12), pp. 5013–5023.
11. **Wu S., Wu Z., and Zhang.** Rock burst prediction probability model based on case analysis, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 93, 103069.