

УДК 662.831

Ломов Михаил Андреевич
младший научный сотрудник,
Институт горного дела ДВО РАН,
680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51
e-mail: 9241515400@mail.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ
ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ
ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ
НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ЮЖНОЕ
(ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)
С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ
ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ***

Аннотация:

Для предупреждения аварий при добыче полезных ископаемых необходимо своевременно определять зоны, где могут возникнуть проявления горного давления, и разрабатывать эффективные методы управления напряженно-деформированным состоянием горного массива.

В данной работе рассматривается месторождение Южное в Приморском крае, которое с 1986 г. отнесено к опасным по горным ударам. Анализ характера возникновения сейсмоакустических событий, основанный на интерпретации данных сейсмического мониторинга автоматизированной системы контроля горного давления «Prognoz-ADS» и визуальных наблюдений, проводился в сочетании с разработанной цифровой моделью природно-технической системы месторождения. В результате работы получены новые данные, которые после дополнительных исследований с помощью системы «Prognoz-ADS» помогут установить факторы удароопасности и разработать необходимый комплекс геомеханических мер для обеспечения безопасности горных работ на нижележащих глубоких горизонтах месторождения Южное. Анализ данных сейсмоакустического мониторинга показал, что количество АЭ-событий за день до толчков увеличилось в полтора раза по сравнению с предыдущими днями. Отработанный блок № 1 между горизонтами +440 и +480 м, а также область, где горные выработки пересекаются с зоной разломов Эльдorado и разломом Рудный в районе отработанных блоков № 2 и 3, были признаны самыми опасными для горных ударов в зоне действия сети геофонов.

Количество АЭ-событий за день до толчков увеличилось в полтора раза по сравнению с предыдущими днями. Удароопасность горного массива месторождения Южное больше зависит от техногенных воздействий,

DOI:

Lomov Mikhail A.
Junior Researcher,
Institute of Mining, Far Eastern Branch of RAS,
680000 Khabarovsk, 51 Turgenev Str.
e-mail: 9241515400@mail.ru

**STUDY OF THE CONDITIONS FOR
THE OCCURRENCE OF DYNAMIC
MANIFESTATIONS OF ROCK PRESSURE
AT THE YUZHNOYE DEPOSIT
(PRIMORSKY KRAI)
USING DIGITAL MODELS
OF NATURAL-TECHNICAL SYSTEMS**

Abstract:

To prevent accidents in the extraction of minerals, it is necessary to timely identify areas where manifestations of rock pressure may occur, and to develop effective methods for managing the stress-strain state of the rock mass.

This work considers the Yuzhnoye deposit in the Primorsky Krai, which has been classified as dangerous due to rock bursts since 1986. The analysis of the nature of the occurrence of seismic acoustic events, based on the interpretation of seismic monitoring data of the automated rock pressure control system “Prognoz-ADS” and visual observations, was conducted in combination with the developed digital model of the natural-technical system of the deposit. As a result of the work, new data were obtained, which after additional research using the “Prognoz-ADS” system will help to establish the factors of shock hazard and develop the necessary complex of geomechanical measures to ensure the safety of mining operations at the lower deep horizons of the Yuzhnoye deposit.

The analysis of seismic acoustic monitoring data showed that the number of AE-events per day before the shocks increased one and a half times compared to the previous days. Mined out stope No. 1 between the level +440 and +480m, as well as the area where the mine workings intersect with the Eldorado fault zone and the Rudny fault in the area of mined out stope No. 2 and No. 3, were recognized as the most dangerous for rock bursts in the area of the geophone network.

The number of AE-events per day before the shocks increased one and a half times compared to the previous days. The shock hazard of the rock mass of the Yuzhnoye deposit depends more on anthropogenic impacts associated with the extraction of minerals than on climatic factors, which have a negligible influence. The influence of air temperature and climate in general on the number of manifestations of rock pressure without reference to the year is not traced. The distribution of shocks is on average the same every month. The highest activity is observed in June, July, and October.

* Исследования проведены с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр обработки и хранения научных данных ДВО РАН», финансируемого Российской Федерацией в лице Минобрнауки России по соглашению № 075-15-2021-663.

связанных с добычей полезных ископаемых, чем от климатических факторов, которые имеют незначительное влияние. Влияние температуры воздуха и климата в целом на количество проявлений горного давления без привязки к году не прослеживается. Распределение толчков в среднем одинаково каждый месяц. Наибольшая активность наблюдается в июне, июле и октябре.

Ключевые слова: геомеханика, горное давление, напряженное состояние, горные удары, прогноз, методы, контроль.

Key words: geomechanics, rock pressure, state of stress, rock bursts, prediction, methods, control.

Введение

Добыча твердых полезных ископаемых сопровождается постоянным увеличением глубины и усложнением условий в горном массиве. В этом случае в подземных работах наибольшую угрозу создают динамические проявления горного давления. Проблема предупреждения горных ударов и техногенных землетрясений, а также их последствий при подземном развитии недр имеет большую сложность из-за многофакторности условий и причин возникновения геодинамических событий, высокой неоднородности свойств и состояния горных пород, которые испытывают интенсивные техногенные воздействия при их разработке, а также низкого уровня знания геомеханических процессов, протекающих в напряженных геосредах [1].

Динамические проявления горного давления – это результат взаимодействия многих факторов, среди которых физико-механические характеристики пород, геологическое строение массива, форма и режим подземных выработок, способ разработки и разные внешние воздействия, например, природные землетрясения, атмосферные давления, гидрогеологические условия, температурные режимы и т. д. Чтобы предсказать и предупредить динамические проявления горного давления, нужно учитывать все эти факторы и проводить комплексные исследования и наблюдения за состоянием горного массива и выработок.

Чтобы предотвратить аварии в процессе добычи полезного ископаемого, необходимо заранее выявлять участки, где может возникнуть проявление горного давления, и разрабатывать действенные способы его регулирования. Для этого требуется комплексное применение региональных и локальных методов, позволяющих оценить и контролировать геомеханическое состояние обрабатываемого горного массива [2 – 4].

Методы и объект исследований

В данной работе рассматривается с 1986 г. отнесенное к опасным по горным ударам месторождение Южное, расположенное в Приморском крае.

На месторождении Южное исследования удароопасности с 1986 г. осуществлялись посредством визуальных наблюдений и инструментальных измерений параметров сейсмоакустической активности массива горных пород.

В декабре 2022 г. на Южном месторождении была установлена геоакустическая система (АСКГД) «Prognoz-ADS» [5].

Этот комплекс работ помогает определить причины возникновения горных ударов в массиве, что важно для улучшения точности прогнозов и предупреждения аварий в будущем [6, 7].

Анализ природы возникновения сейсмоакустических событий, базирующийся на интерпретации данных сейсмического мониторинга автоматизированной системы контроля горного давления «Prognoz-ADS» и визуальных наблюдений, проводился в

совокупности с разработанной цифровой моделью природно-технической системы месторождения.

Анализ динамических проявлений годного давления и результатов сейсмоакустического мониторинга

С 1986 по 1987 г. на глубинах от 150 до 170 м впервые произошли горные удары, вызвавшие серьезные динамические последствия. За весь период с 1986 по 2023 г. на месторождении было зарегистрировано 2185 случаев динамического горного давления (рис. 1 – 2).

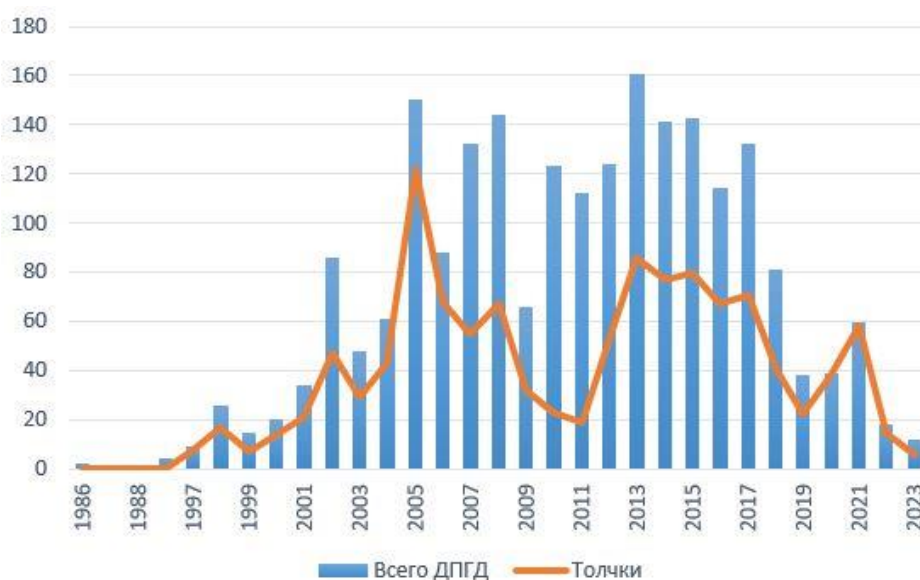


Рис. 1. Распределение по годам динамических проявлений горного давления на месторождении Южное



Рис. 2. Виды динамических проявлений горного давления на месторождении Южное с указанием их количества в период 1986 – 2023 гг.

Наибольшие концентрации толчков зафиксированы на горизонте 480 в 2 и 3 отработанных блоках (рис. 3).

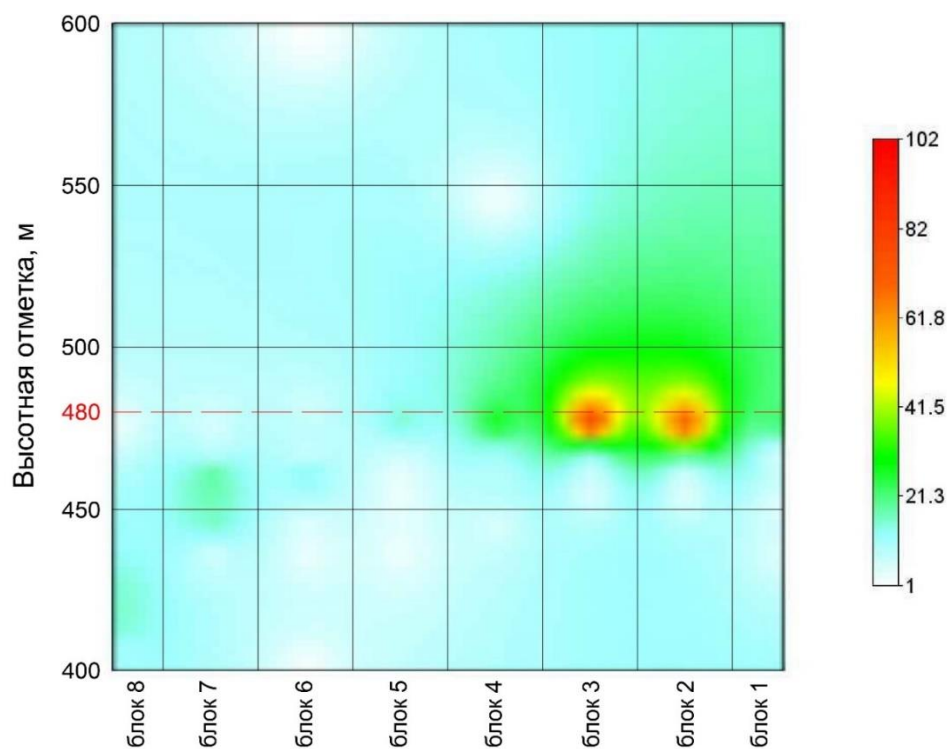


Рис. 3. Схема расположения толчков на месторождении Южное

Влияние температуры воздуха и климата в целом на количество проявлений горного давления без привязки к году не прослеживается. Распределение толчков в среднем одинаково каждый месяц. Наибольшая активность наблюдается в июне, июле и октябре (рис. 4).



Рис. 4. График распределения количества толчков по месяцам в 1986 – 2023 гг. на месторождении Южное и среднемесячной температуры воздуха в Дальнегорске (без привязки в году)

Основной задачей геомеханического мониторинга является изучение изменения НДС горнотехнических систем и проявлений горного давления [8, 9] в виде горного удара, микроударов, толчков и стреляний [10 – 12].

За 2023 г. с помощью системы «Prognoz-ADS» было зарегистрировано 3117 сейсмоакустических событий, в том числе 7 толчков (рис. 5).

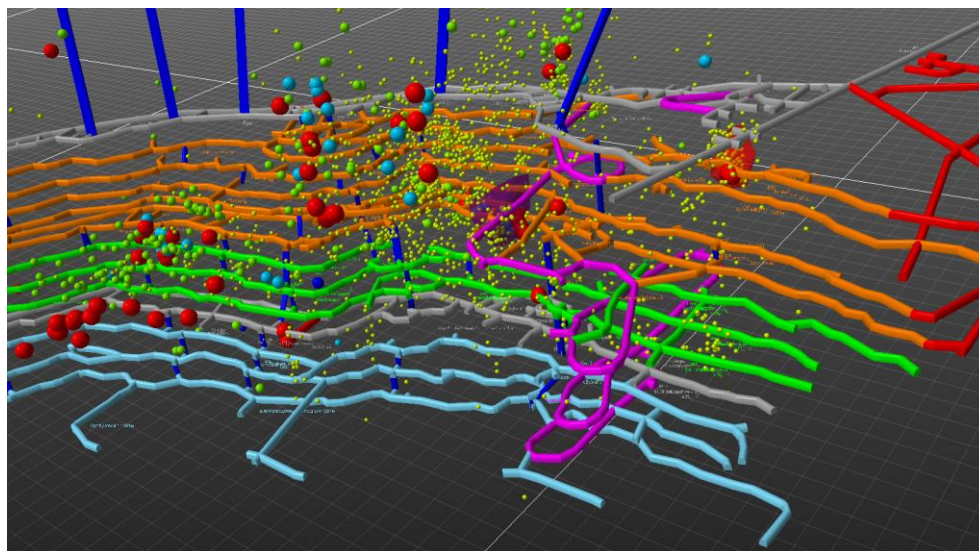


Рис. 5. 3D модель акустической активности месторождения Южное за 2023 г.

Распределение количества и суммарной энергии АЭ-событий, зарегистрированных системой «Prognoz-ADS», представлено на рис. 6.

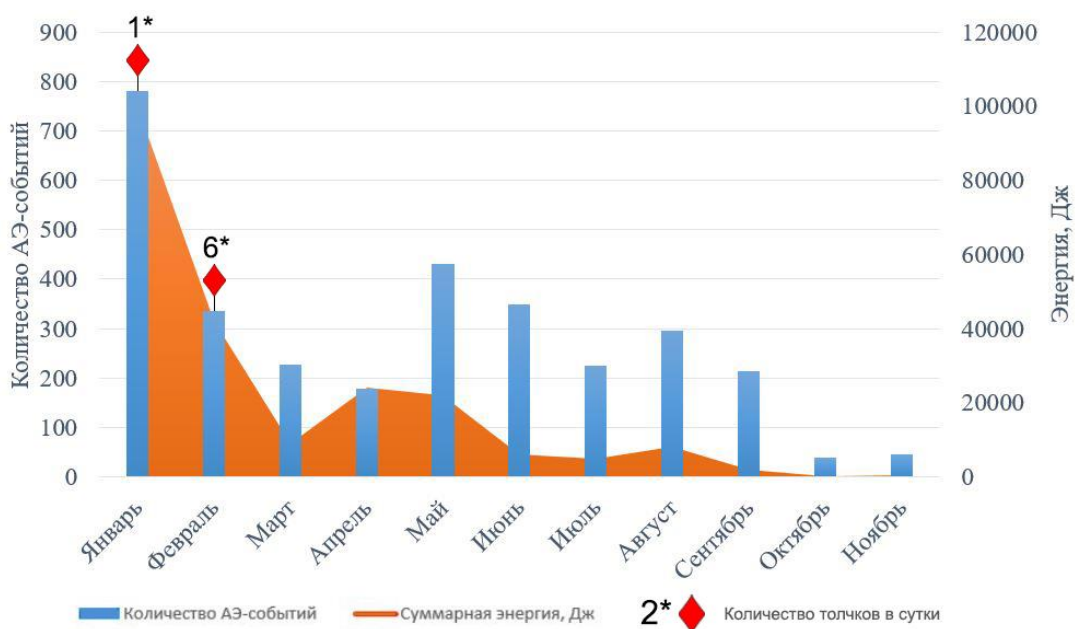


Рис. 6. График распределения количества, суммарной энергии АЭ-событий и толчки, зафиксированные на месторождении Южное в 2023 г.

Анализ распределения количества толчков показывает, что на удароопасность массива горных пород месторождения Южное значительное влияние оказывают техногенные работы по добыче полезного ископаемого. На рис. 7 прослеживается четкая зависимость количества АЭ-событий от объема отбойки руды.

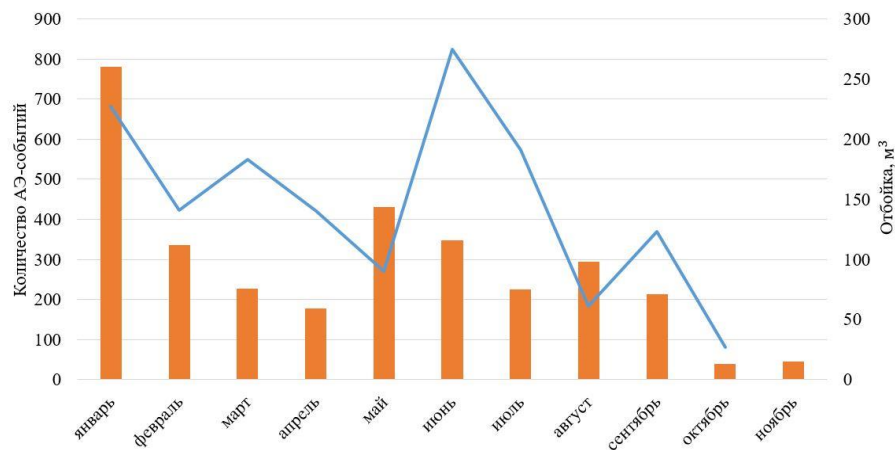


Рис. 7. График распределения количества АЭ-событий и объема отбойки горной породы на месторождении Южное в 2023 г.

На рис. 8 и 9 представлены графики распределения количества АЭ-событий за 2023 г. в зависимости от температуры воздуха и объема осадков в Дальнегорске. Анализ данных графиков показывает слабое влияние климатических факторов на удароопасность месторождения Южное.

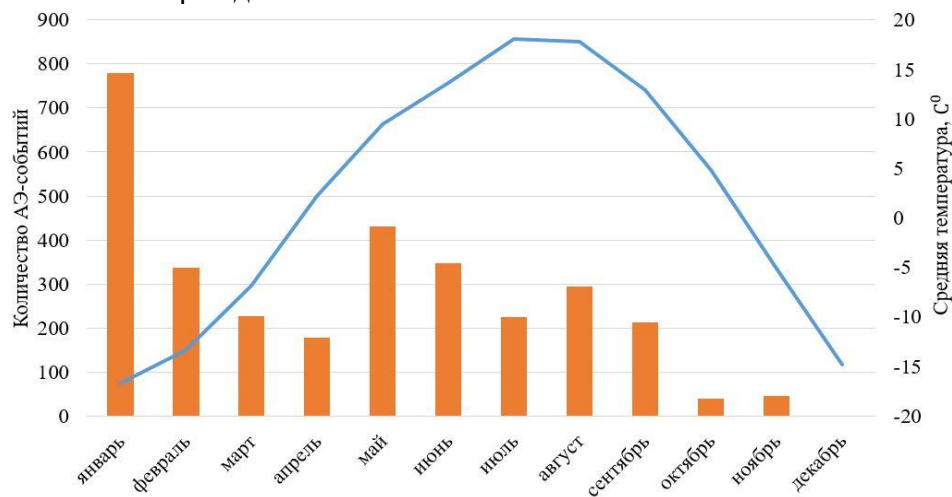


Рис. 8. График распределения количества АЭ-событий в 2023 г. на месторождении Южное и среднемесячной температуры воздуха в Дальнегорске (без привязки в году)

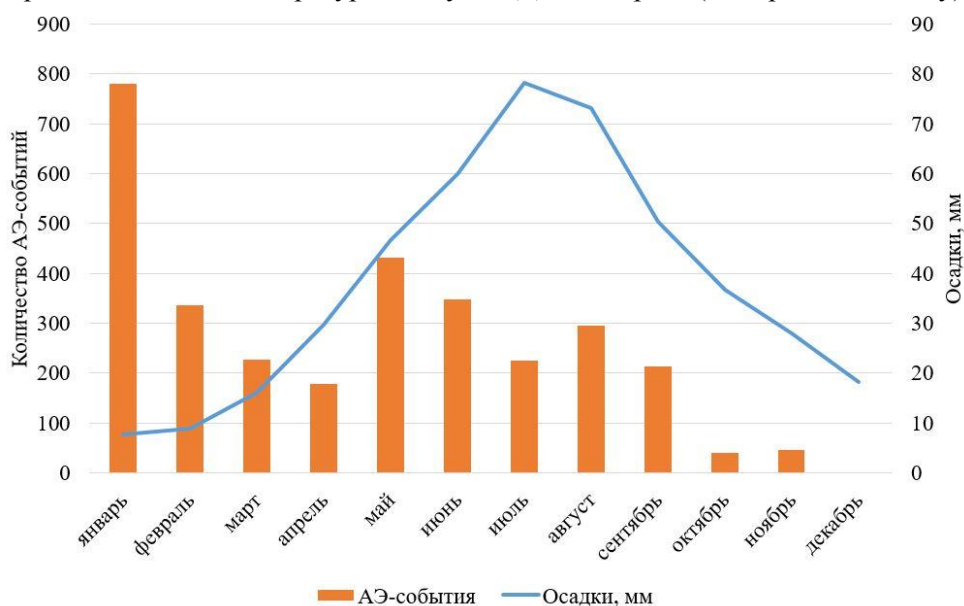


Рис. 9. График распределения количества АЭ-событий в 2023 г. на месторождении Южное и среднемесячного объема осадков в Дальнегорске (без привязки в году)

Наиболее высокая сейсмоакустическая активность массива горных пород с выделением большой энергии на месторождении наблюдалась в январе и феврале 2023 г. Количество АЭ-событий за день до толчков увеличивалось в полтора раза по сравнению с предыдущими днями [5].

Проявления сейсмичности в январе были зарегистрированы 23-го числа (1 толчок в 21:17 с энергией 1131.32 Дж), в феврале были зарегистрированы 2-го числа (1 толчок в 18:36 с энергией 593.09 Дж), 5-го (1 толчок в 18:05 с энергией 664.23 Дж), 16-го (1 толчок в 18:19 с энергией 1200.96 Дж), 18-го (2 толчка в 14:20 с энергией 6016.81 и 2250.85 Дж, соответственно). Разрушений горных выработок не наблюдалось.

Посредством сопоставления данных распределения сейсмоакустической активности массива горных пород с геологическим строением и выработанным пространством в цифровой модели природно-технической системы месторождения было установлено, что наибольшая концентрация АЭ-событий расположена в районе отработанного блока № 1 в промежутке с г. 440 по г. 480, а также в районе пересечения горных выработок с лежащим боком зоны разломов Эльдorado и с другими геологическими разломами в районе отработанных блоков № 2 и 3 (рис. 10).

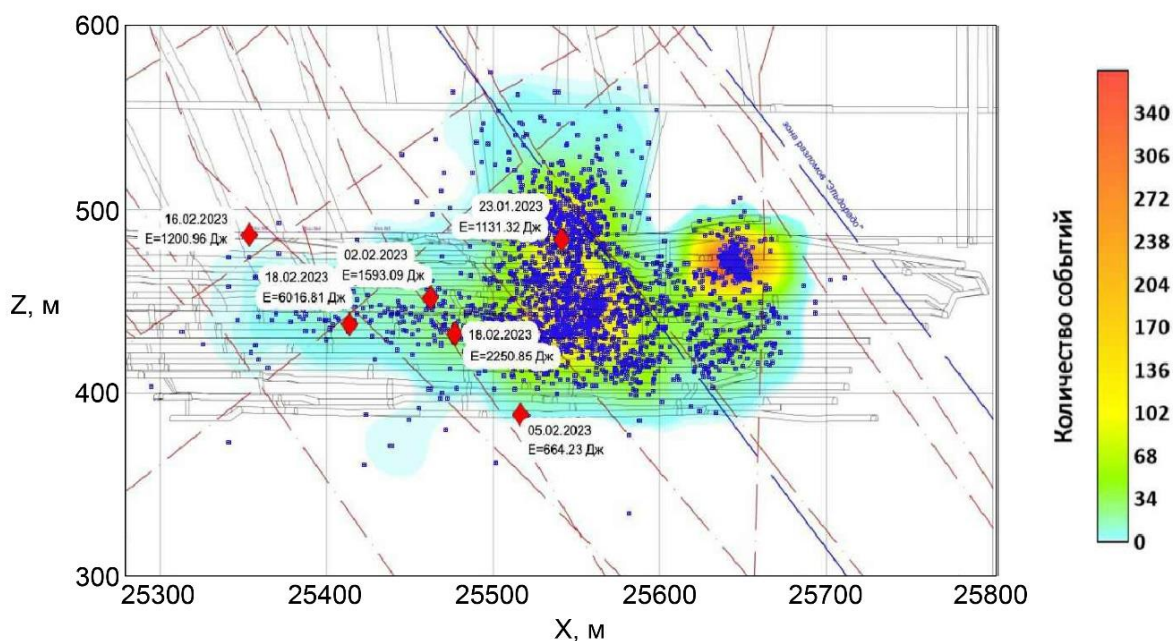


Рис. 10. Сейсмоакустическая активность и толчки, зарегистрированные в массиве Южного месторождения за 2023 г. в проекции на наклонный разрез, проходящий через рудное тело

Выводы

В результате работы получены новые данные, которые после дополнительных исследований с помощью системы «Prognoz-ADS» помогут определить причины удароопасности и разработать необходимый набор геомеханических мер для обеспечения безопасности горных работ на глубоких горизонтах Южного месторождения.

Анализ данных сейсмоакустического мониторинга показал, что количество АЭ-событий за день до толчков увеличивалось в полтора раза по сравнению с предыдущими днями. Отработанный блок № 1 между горизонтами +440 и +480 м, а также область, где горные выработки пересекаются с зоной разломов Эльдorado и разломом Рудный в районе отработанных блоков № 2 и 3, были признаны самыми опасными для горных ударов в зоне действия сети геофонов.

Удароопасность горного массива Южного месторождения больше зависит от техногенных воздействий, связанных с добычей полезного ископаемого, чем от климатических факторов, которые имеют незначительное влияние.

Список литературы

1. Криницын Р.В., 2022. Напряженно-деформированное состояние массива горных пород при отработке месторождений Урала. *Горная промышленность*, № 5, С. 79-82. DOI 10.30686/1609-9192-2022-5-79-82.
2. Сидоров Д.В., Пономаренко Т.В., 2020. Методология оценки геодинамического состояния природно-техногенных систем при реализации проектов освоения месторождений. *Горный журнал*, № 1, С. 49-52. DOI 10.17580/gzh.2020.01.09.
3. Potapchuk M.I., Kursakin G.A., Sidlyar A.V., 2014. Improvement of safety of development of bump hazardous vein deposits of eastern primorye. *Eurasian Mining*, No. 1, P. 18-22.
4. Потапчук М.И., Курсакин Г.А., Сидляр А.В., 2013. Повышение безопасности разработки удароопасных жильных месторождений Восточного Приморья. *Горный журнал*, № 10, С. 30-34.
5. Ломов М.А., Сидляр А.В., Константинов А.В., Грунин А.П., 2023. Геомеханические проблемы отработки нижних горизонтов месторождения Южное (Приморский край). *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 12-2, С. 87-99. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_122_0_87.
6. Lomov M., 2020. 3D modeling system of seismoacoustic monitoring results at the Nikolaevskoye field. *E3S Web of Conferences: 8, Khabarovsk, 08–10 сентября 2020 года*. Khabarovsk, P. 04008. DOI 10.1051/e3sconf/202019204008.
7. Ломов М.А., Сидляр А.В., 2021. Оценка факторов удароопасности Николаевского месторождения с помощью системы 3D моделирования результатов сейсмоакустического мониторинга. *Проблемы недропользования*, № 1(28), С. 64 – 72. DOI 10.25635/2313-1586.2021.01.064.
8. Kozyrev, A. A., Panin, V. I., Semenova, I. E., & Zhuravleva, O. G., 2018. Geodynamic safety of mining operations under rockburst-hazardous conditions in the Khibiny apatite deposits. *Journal of Mining Science*, 54(5), 734-743. doi:10.1134/S1062739118054832
9. Lovchikov A.V., 2013. Review of the strongest rockbursts and mining-induced earthquakes in Russia. *Journal of Mining Science*, 49(4), 572-575. doi:10.1134/S1062739149040072
10. Zhou J., Li X., & Mitri H. S., 2016. Classification of rockburst in underground projects: Comparison of ten supervised learning methods. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 30(5) doi:10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000553.
11. Sun F., Fan J., Guo J., Shi X., Liu X., Zhu B. & Zhang H., 2021. Rockburst proneness criterion based on energy principle. [基于能量原理的岩爆倾向性判据] Gaoya Wuli Xuebao. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 35(3) doi:10.11858/gywllxb.20200650
12. He M., e Sousa L. R., Miranda T. & Zhu G., 2015. Rockburst laboratory tests database - application of data mining techniques. *Engineering Geology*, 185, 116-130. doi:10.1016/j.enggeo.2014.12.008

References

1. Krinitsyn R.V., 2022. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie massiva gornykh porod pri otrabotke mestorozhdenii Urala [Stress-strain state of the rock mass during mining deposits of the Urals]. *Gornaya promyshlennost'*, № 5, P. 79-82. DOI 10.30686/1609-9192-2022-5-79-82.
2. Sidorov D.V., Ponomarenko T.V., 2020. Metodologiya otsenki geodinamicheskogo sostoyaniya prirodno-tekhnogennykh sistem pri realizatsii proektov osvoeniya mestorozhdenii

[Methodology for assessing the geo-dynamic state of natural and man-made systems during the implementation of field development projects]. *Gornyi zhurnal*, № 1, P. 49-52. DOI 10.17580/gzh.2020.01.09.

3. Potapchuk M.I., Kursakin G.A., Sidlyar A.V., 2014. Improvement of safety of development of bump hazardous vein deposits of eastern primorye. *Eurasian Mining*, No. 1, P. 18-22.

4. Potapchuk M.I., Kursakin G.A., Sidlyar A.V., 2013. Povyshenie bezopasnosti razrabotki udaroopasnykh zhil'nykh mestorozhdenii Vostochnogo Primor'ya [Improving the safety of the development of high-impact vein deposits in the Eastern Primorsky region]. *Gornyi zhurnal*, № 10, P. 30-34.

5. Lomov M.A., Sidlyar A.V., Konstantinov A.V., Grunin A.P., 2023. Geomekhanicheskie problemy otrabotki nizhnikh gorizontov mestorozhdeniya Yuzhnoe (Primorskii krai) [Geomechanical problems of mining the lower horizons of the Yuzhnoye deposit (Primorsky Krai)]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 12-2, P. 87-99. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_122_0_87.

6. Lomov M., 2020. 3D modeling system of seismoacoustic monitoring results at the Nikolaevskoye field. *E3S Web of Conferences: 8, Khabarovsk, 08–10 сентября 2020 года*. Khabarovsk, P. 04008. DOI 10.1051/e3sconf/202019204008.

7. Lomov M.A., Sidlyar A.V., 2021. Otsenka faktorov udaroopasnosti Nikolaevskogo mestorozhdeniya s pomoshch'yu sistemy 3D modelirovaniya rezul'tatov seismoakusticheskogo monitoring [Assessment of the rockburst resistance of the Nikolaevsky field with the help of a 3D modeling system for seismic and acoustic monitoring results]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 1(28), P. 64 – 72. DOI 10.25635/2313-1586.2021.01.064.

8. Kozyrev, A. A., Panin, V. I., Semenova, I. E., & Zhuravleva, O. G., 2018. Geodynamic safety of mining operations under rockburst-hazardous conditions in the Khibiny apatite deposits. *Journal of Mining Science*, 54(5), 734-743. doi:10.1134/S1062739118054832

9. Lovchikov A.V., 2013. Review of the strongest rockbursts and mining-induced earthquakes in Russia. *Journal of Mining Science*, 49(4), 572-575. doi:10.1134/S1062739149040072

10. Zhou J., Li X., & Mitri H. S., 2016. Classification of rockburst in underground projects: Comparison of ten supervised learning methods. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 30(5) doi:10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000553.

11. Sun F., Fan J., Guo J., Shi X., Liu X., Zhu B. & Zhang H., 2021. Rockburst proneness criterion based on energy principle. [基于能量原理的岩爆倾向性判据] *Gaoya Wuli Xuebao. Chinese Journal of High Pressure Physics*, 35(3) doi:10.11858/gywllxb.20200650

12. He M., e Sousa L. R., Miranda T. & Zhu G., 2015. Rockburst laboratory tests database - application of data mining techniques. *Engineering Geology*, 185, 116-130. doi:10.1016/j.enggeo.2014.12.008