

УДК 622.831

Ломов Михаил Андреевич

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

Бурдинская Алёна Ариандовна

старший инженер,
Институт горного дела ДВО РАН

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УДАРООПАСНОСТИ НА РУДНИКАХ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА*

Аннотация:

Освоение месторождений твердых полезных ископаемых на современном этапе происходит в постоянно усложняющихся горно-геологических и геомеханических условиях и сопровождается проявлением таких опасных геодинамических явлений, как горные удары, внезапные выбросы породы и газа, техногенные землетрясения, часто имеющие катастрофические последствия. В статье представлены результаты исследований динамических проявлений горного давления и удароопасности за период с января по ноябрь 2024 г. на полиметаллических рудниках Дальневосточного региона, включая Южное и Николаевское месторождения. Объектом анализа стала геомеханическая обстановка, характеризующаяся высокой интенсивностью сейсмоакустической активности и частыми проявлениями горного давления. Основное внимание уделено геомеханическому мониторингу с применением автоматизированной системы контроля горного давления (АСКГД) «Prognoz-ADS», обеспечивающей регистрацию параметров акустической эмиссии в диапазоне 0,5–12 кГц.

Анализ данных позволил выявить пространственно-временные закономерности сейсмоакустической активности и определить ключевые факторы, влияющие на удароопасность. Установлено, что наибольшее число динамических проявлений связано с пересечением крупных тектонических разломов, таких как разлом «Рудный», с зонами разрывных нарушений, а также с накоплением сжимающих напряжений вблизи рудных тел. Напряженно-деформированное состояние массива Южного месторождения осложняется наличием оставленных целиков забалансовых руд, межэтажных целиков и непогашенного выработанного пространства, что создает условия для реализации горно-тектонических ударов.

Предложены рекомендации по дальнейшему

DOI: 10.25635/2313-1586.2025.01.053

Lomov Mikhail A.

Junior Researcher,
Mining Institute, FEB RAS,
680000 Khabarovsk, 51 Turgenev Str.
e-mail: 9241515400@mail.ru

Burdinskaya Alena A.

Senior Engineer,
Mining Institute, FEB RAS

EXPERIMENTAL STUDIES OF IMPACT HAZARD IN THE MINES OF THE FAR EASTERN REGION

Abstract:

The development of solid mineral deposits at the present stage takes place with an ever-increasing complexity of mining, geological and geomechanical conditions and is accompanied by the manifestation of such dangerous geodynamic phenomena as mountain impacts, sudden emissions of rock and gas, man-made earthquakes, often with catastrophic consequences. The article presents the results of studies of dynamic manifestations of rock pressure and impact hazard for the period from January to November 2024 at polymetallic mines in the Far Eastern region, including the Yuzhnoye and Nikolaevskoye deposits. The object of the analysis was the geomechanical situation, characterized by a high intensity of seismic activity and frequent manifestations of mountain pressure. The main attention is paid to geomechanical monitoring using the “Prognoz-ADS” automated mountain pressure monitoring system, which records acoustic emission parameters in the range of 0.5–12 kHz. Data analysis made it possible to identify spatio-temporal patterns of seismic activity and identify key factors affecting impact hazard. It has been established that the greatest number of dynamic manifestations is associated with the intersection of large tectonic faults, such as the Rudny fault, with zones of discontinuous faults, as well as with the accumulation of compressive stresses near ore bodies. The stress-strain state of the Yuzhnoye deposit massif is complicated by the presence of abandoned pillars of off-balance ores, interstory pillars and outstanding depleted space, which creates conditions for the implementation of mining and tectonic impacts.

Recommendations for further improvement of the monitoring and risk management system related to dynamic manifestations are proposed. The conclusions emphasize the need for an integrated approach, including instrumental monitoring, stress-strain modeling, and regular impact hazard analysis. These measures are aimed at improving the

* 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.

совершенствованию системы мониторинга и управления рисками, связанными с динамическими проявлениями. Выводы подчеркивают необходимость комплексного подхода, включающего инструментальный мониторинг, моделирование напряженно-деформированного состояния и регулярный прогноз удароопасности. Эти меры направлены на повышение безопасности ведения горных работ и минимизацию рисков на месторождениях, характеризующихся высокой сейсмоакустической активностью.

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

safety of mining operations and minimizing risks in fields characterized by high seismic activity.

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

Введение

Динамические проявления горного давления остаются одной из важнейших проблем безопасности и эффективности горных работ во всем мире. Такие явления особенно характерны для регионов со сложными геологическими структурами, таких как Дальний Восток России. Изучение сейсмоакустических событий и динамики горного давления на данном участке представляет собой уникальную возможность для оценки мировых методов и технологий, разработанных для оценки и уменьшения рисков проявлений горного давления [1, 2].

Исследования напряженно-деформированного состояния горного массива значительно продвинулись за последние десятилетия в мировой науке с заметными достижениями в области технологий мониторинга, таких как автоматизированные сейсмические системы и датчики давления в реальном времени. Такие страны, как Канада, Австралия и Южно-Африканская Республика, являющиеся лидерами в горной добыче твердых пород, стали пионерами стратегий, интегрирующих геомеханическое моделирование, системы раннего предупреждения и мониторинг динамических проявлений горного давления. Эти мировые практики все чаще адаптируются в России для решения специфических проблем, связанных с уникальными геомеханическими условиями региона. Опыт, полученный в результате этих международных подходов, становится основой для разработки более усовершенствованных методов смягчения рисков в России [3 – 5].

Анализ динамических проявлений горного давления при отработке Николаевского и Южного месторождений

Южное полиметаллическое месторождение расположено в Восточном Приморье, и с 1986 г. отнесено к опасным по горным ударам [6]. За годы эксплуатации здесь зарегистрировано более 2,1 тыс. динамических проявлений горного давления, а первые горные удары с тяжелыми последствиями произошли на глубинах 150 – 170 м [7 – 10]. Формы и количество проявлений горного давления представлены на рис. 1, 2.

Анализ геомеханической обстановки, складывающейся на Южном месторождении в последние годы, показал необходимость более углубленных исследований удароопасности, в том числе с применением современных методов и средств геомониторинга. С этой целью в 2022 г. на нижних горизонтах Южного месторождения была установлена 1 очередь автоматизированной системы контроля горного давления (АСКГД) «Prognoz-ADS», обеспечивающей регистрацию и определение параметров сейсмоакустических событий в частотном диапазоне 0,5...12 кГц [11].

За период с января по ноябрь 2024 г. на Южном месторождении горные работы велись преимущественно в пределах блоков 7 и 6 в этаже 411 – 427 м. Результаты сейсмоакустического мониторинга в 2024 г. представлены на рис. 3. Всего за этот период зарегистрировано 4130 сейсмоакустических событий.

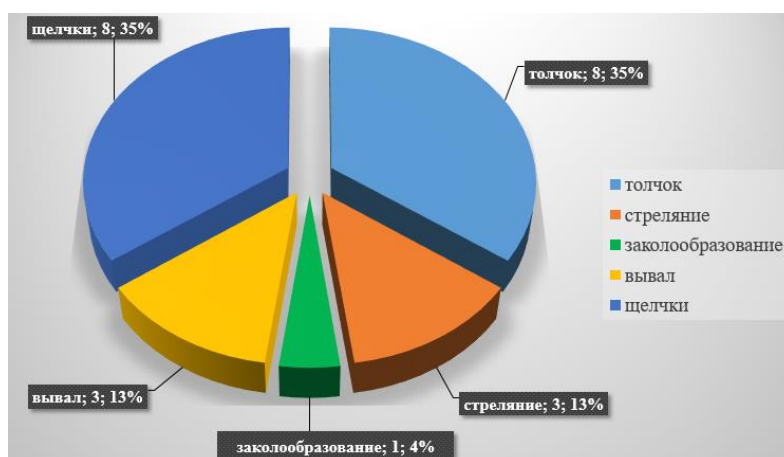


Рис.1. Динамические проявления горного давления, зарегистрированные за период с января по ноябрь 2024 г. на месторождении Южное

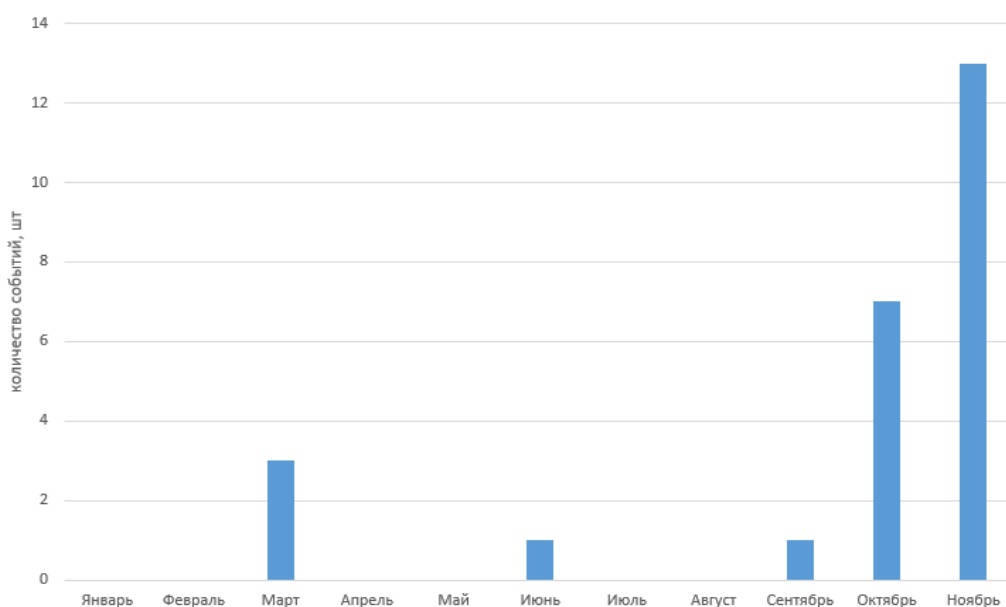


Рис. 2. Помесячное распределение проявлений горного давления в период с января по ноябрь 2024 г.

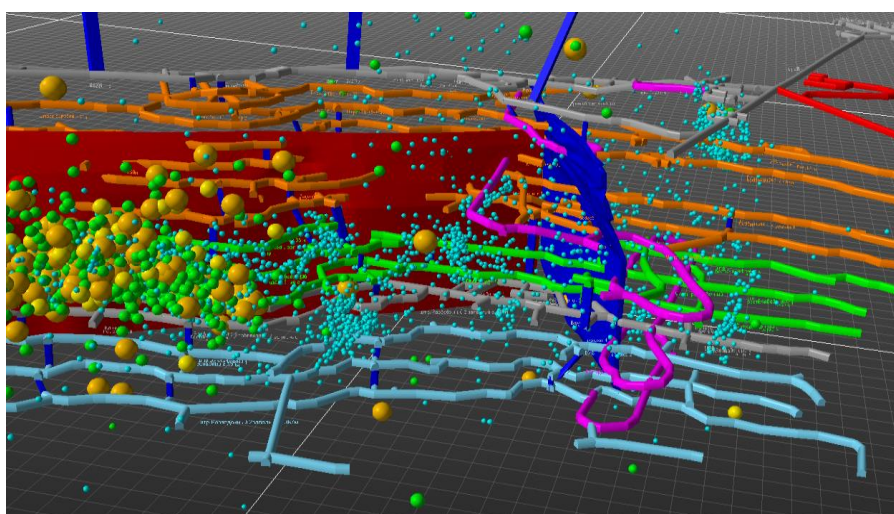


Рис. 3. Результаты сейсмоакустического мониторинга участка массива месторождения Южное в 2024 г. в 3D модели

Распределение количества и суммарной энергии АЭ-событий, зарегистрированных системой «Prognoz-ADS», показано на рис. 4. Снижение сейсмоакустической активности в первой половине 2024 г. связано со значительным сокращением объемов добычи в эти месяцы.

Наиболее высокая сейсмоакустическая активность массива горных пород с выделением значительной энергии на месторождении наблюдалась в период август – ноябрь 2024 г.

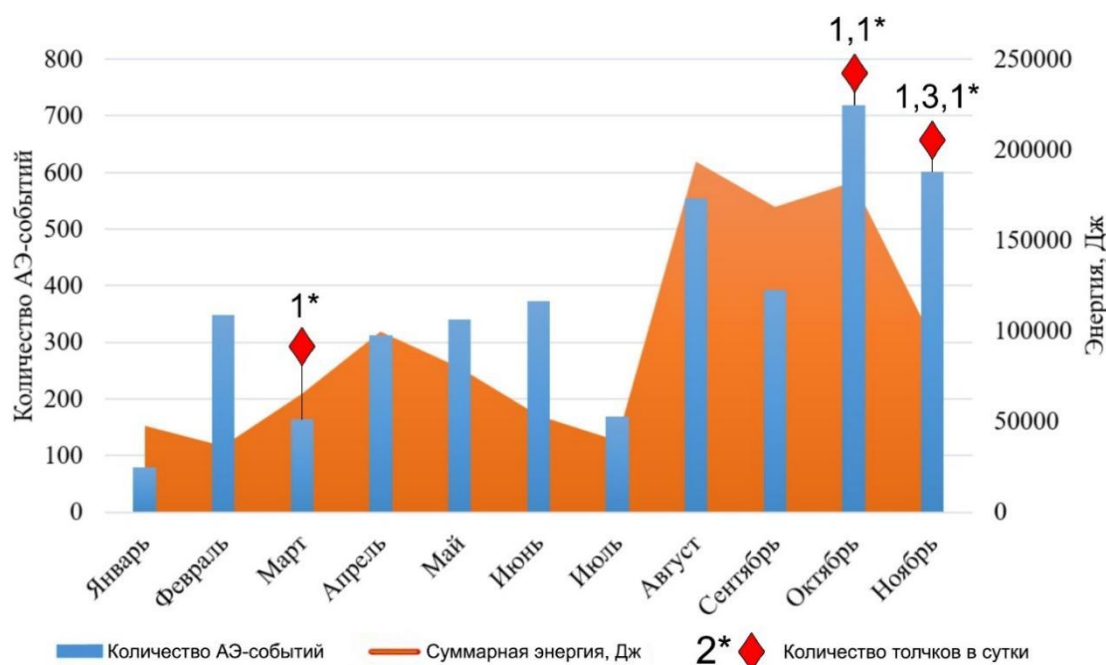


Рис. 4. Помесячное распределение количества и суммарной энергии АЭ-событий и толчков в массиве месторождения Южное за период с января по ноябрь 2024 г.

На Николаевском полиметаллическом месторождении в 2024 г. горные работы также сопровождалась динамическими проявлениями горного давления и внешними признаками удароопасности. Всего было задокументировано 68 проявлений, наибольшее их количество представлено щелчками и вывалами (рис. 5).

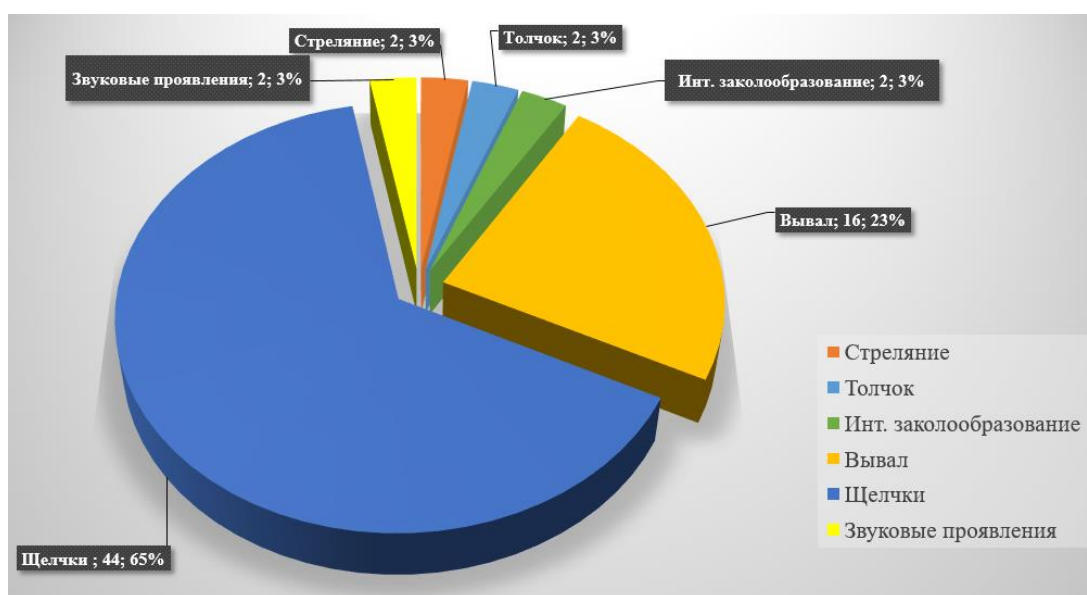


Рис. 5. Динамические проявления горного давления, зарегистрированные за период с января по ноябрь 2024 г. на Николаевском месторождении

В 2024 г. на Николаевском полиметаллическом месторождении зарегистрировано 2 толчка (рис. 6). Наибольшее число проявлений горного давления наблюдалось в феврале 2024 г.

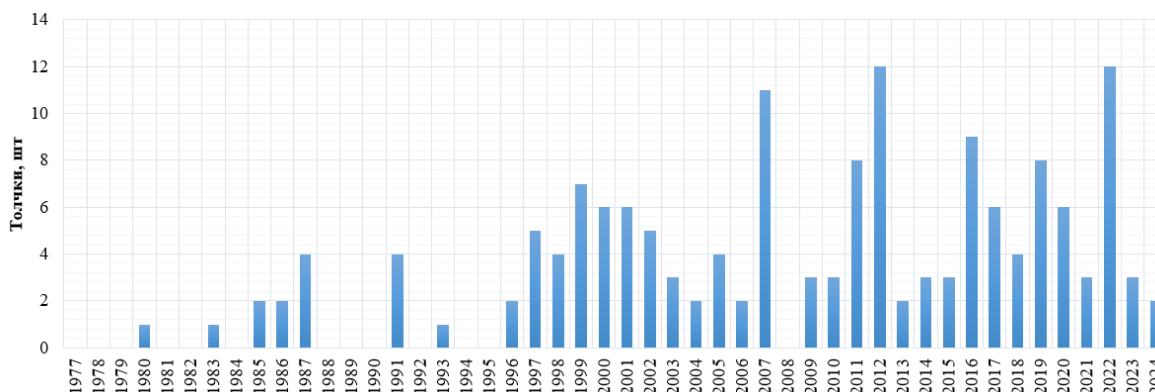


Рис. 6. Толчки, зарегистрированные на Николаевском месторождении с 1977 по 2024 г.

Первый толчок был зафиксирован 17.01.2024 в 11:51 на уклоне Буровой 1 подэтажа -444... -460 м от маркшейдерской точки № 29 до сопряжения с Водозаборником 1. Толчок сопровождался сильным звуковым эффектом, сотрясением массива и образованием пыли, что было отмечено работниками по всему шахтному полю от гор. -220 м до подэтажа -460 м, а также в здании АБК поверхностного комплекса, в зоне влияния дайки диабазовых порфиринов. После динамического проявления наблюдалось падение заколов: на подэтаже -460 м (уклон Буровой 1, камера Вспомогательной насосной); заезд на подэтаж -446 м; уклоне Буровом -433... -446 м; а также в разведочной расщелке 2 подэтажа -433 м. Гипоцентр толчка находился на отметке -460 м.

Второе сейсмическое событие произошло 06.02 в 02:30. Толчок сопровождался сильным звуковым эффектом, сотрясением массива и образованием пыли, что было отмечено работниками на подэтажах -360, -375 и -390 м. После динамического проявления наблюдалось падение заколов на подэтажах -360, -375, -390 м. Гипоцентр толчка находился на подэтаже -375 м, блок 7, камера 6, квершлаг 8-2, район маркшейдерской точки № 8-1, блок Крайний.

В текущем году большая часть событий регистрировалась в районе блока Крайний, где велись очистные работы.

Результаты сейсмоакустического контроля удароопасности при разработке Южного месторождения

Большинство зарегистрированных за период с января по ноябрь 2024 г. сейсмоакустических событий произошло в октябре – декабре в районе пересечения геологического разлома «Рудный» и зон разрывных нарушений, где велись горные работы.

29 октября 2024 г. в 04:55 был зарегистрирован толчок с энергией 17620 Дж, а 30 октября в 12:59 – толчок с меньшей энергией. Посуточное распределение количества и суммарной энергии АЭ-событий, зарегистрированных системой «Prognoz-ADS» в октябре 2024 г., представлено на рис. 7.

По данным СППГУ участка «Южный» рудника «2-й Советский» 29.10.2024 г. в I смену после проведения взрывных работ по вторичному дроблению негабаритных кусков горной массы на штреке Разведочном 4 подэтажа 419 м в Блоке 6-411 произошло динамическое проявление горного давления в форме толчка. Во II смену 29.10.2024, после проведения визуального осмотра, были выявлены обрушения породы в горных выработках Блока 6-411 на подэтажах 411, 419, 427 м. Обрушения зафиксированы на штреке Разведочном 3 подэтажа 427 м, штреке Разведочном 4 подэтажа 419 м, штреке Разведочном 2 подэтажа 411 м. Общий объем обрушений составил более 200 м³ (рис. 8).

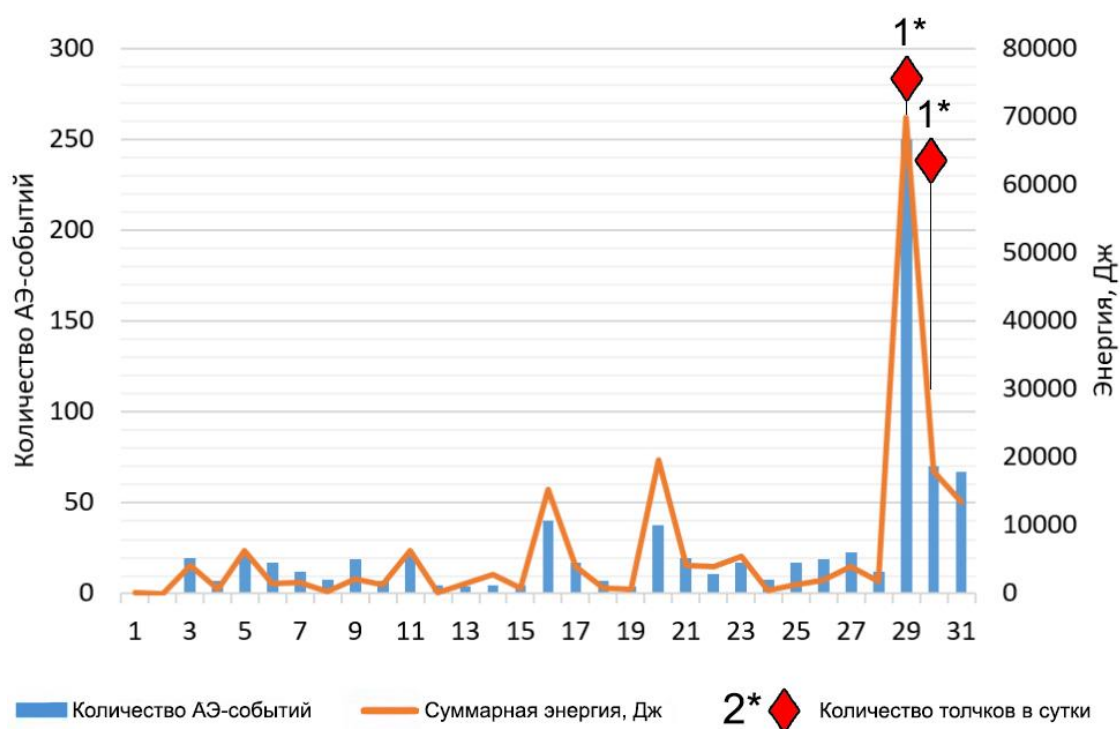


Рис. 7. Посуточное распределение количества и суммарной энергии АЭ-событий в октябре 2024 г. на месторождении Южное

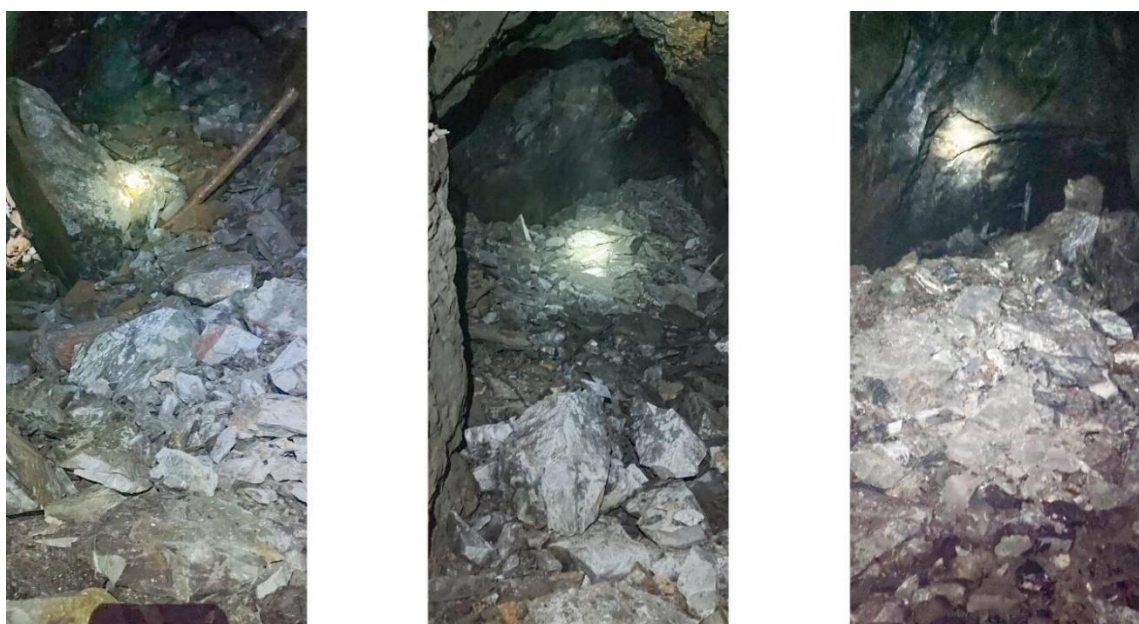


Рис. 8. Последствия динамического проявления горного давления в форме толчка

Также во время осмотра горных выработок наблюдалось интенсивное заколообразование по вышеуказанным штрекам, слышались треск и щелчки в приконтурных частях горного массива, реже – толчки в глубине массива. По результатам замеров прибором локального контроля горного давления «Prognoz-L» по всему Блоку 6-411 в указанных подэтажах введена категория удароопасности «Опасно». Было отмечено, что количество импульсов акустической эмиссии горных пород увеличивалось с глубиной: меньшие значения регистрировались на подэтаже 427 м; более высокие – на подэтажах 419 и 411 м. Самое большое количество АЭ событий зафиксировано было на

подэтаже 411 м, где интенсивность АЭ более чем в 10 раз превысила критический уровень.

Динамические проявления горного давления продолжались в течение 5 суток. Служба ППГУ и горный надзор рудника ежедневно проводили визуальные осмотры горных выработок Блока 6-411 и замеры прибором локального контроля горного давления. За это время наблюдалось постепенное снижение визуальных признаков удароопасности и количества сейсмоакустических событий, регистрируемых системой «Prognoz-ADS». После очередного обследования горных выработок в Блоке 6-411 03.11.2024 г. службой ППГУ было выдано разрешение на ведение горных работ.

Изменение показателя удароопасности $K_{уд}$ и распределение количества и суммарной энергии АЭ-событий в период 29 и 30 октября представлены на рис. 9 и 10. За несколько суток до события зафиксирована повышенная скорость миграции АЭ-событий, а 16, 20 и 27 октября превышение порогового значения $K_{уд}$, что может служить предвестником проявлений горного давления.

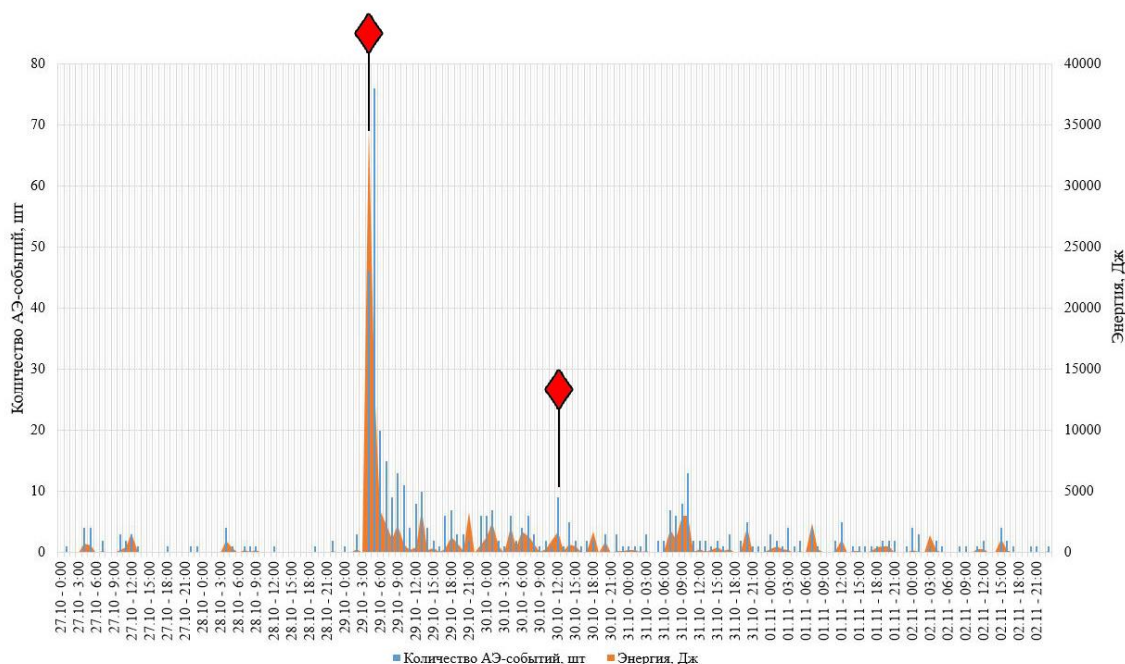


Рис. 9. Почасовое распределение количества и суммарной энергии АЭ-событий перед толчками 29 и 30 октября 2024 г.

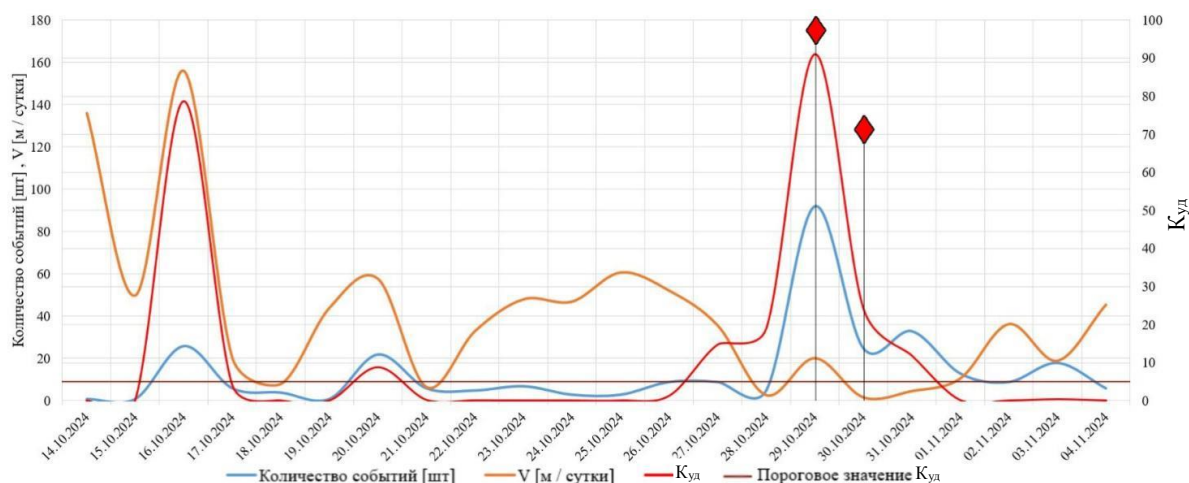


Рис. 10. Изменение показателя удароопасности $K_{уд}$ перед толчками 29 и 30 октября 2024 г.

12 ноября 2024 г. в 11:10 было зарегистрировано АЭ-событие с энергией 274 Дж. Изменение показателя удароопасности $K_{уд}$ и распределение количества и суммарной энергии АЭ-событий в период с 29 по 30 октября представлены на рис. 11 и 12. Невысокие значения рассчитанной энергии обусловлены процессами затухания сигналов от удаленных от датчиков АСКГД очагов АЭ-событий.

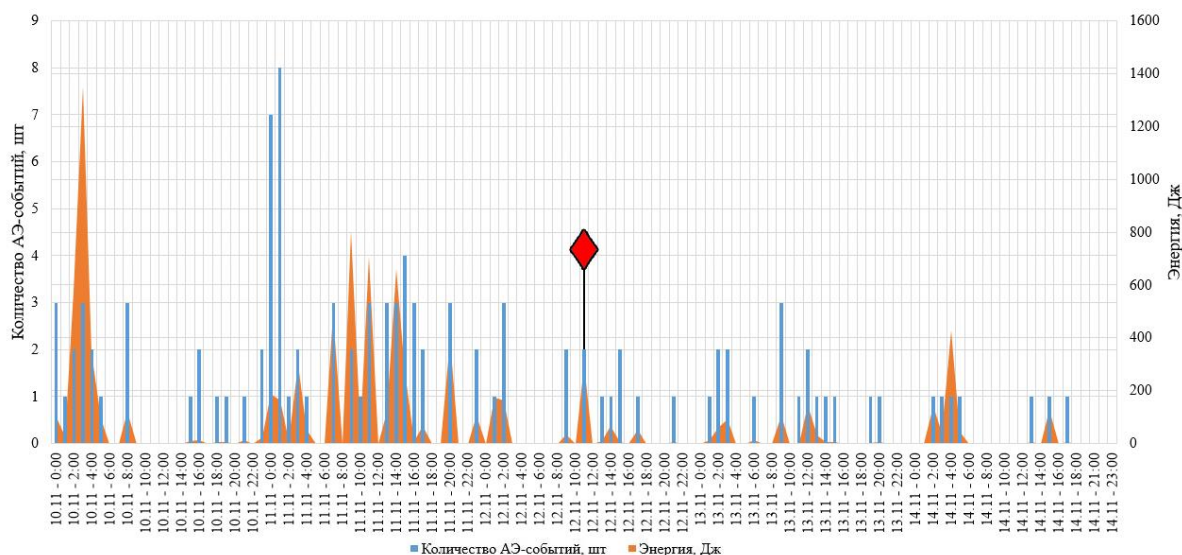


Рис. 11. Почасовое распределение количества и суммарной энергии АЭ-событий перед толчком 12 ноября 2024 г.

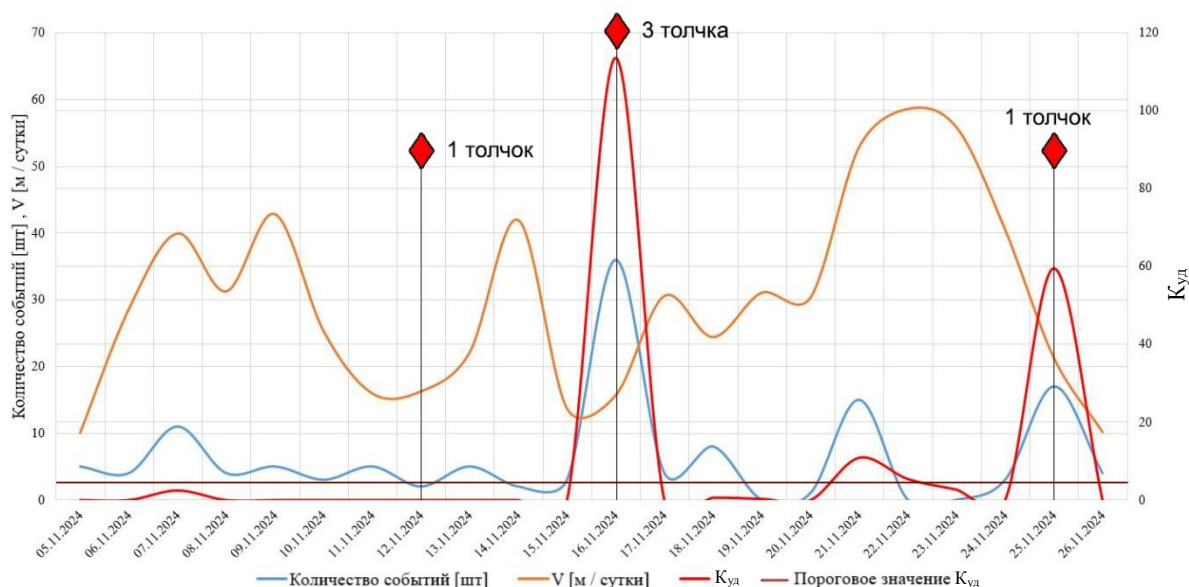


Рис. 12. Изменение показателя удароопасности $K_{уд}$ перед толчками 12, 16 и 25 ноября 2024 г.

Положение очагов АЭ-событий в массиве горных пород Южного месторождения показано на рис. 13 и 14. Наибольшая концентрация АЭ-событий наблюдалась в районе блока № 1 – 3 в месте пересечения горных выработок с разломом «Рудный», расположенным в основном соосно простиранию рудной жилы № 4 и пересекающим ее на отдельных участках, а также зоной разрывных нарушений «Солнечная» и другими тектоническими нарушениями северо-западного и северо-восточного направлений падения.

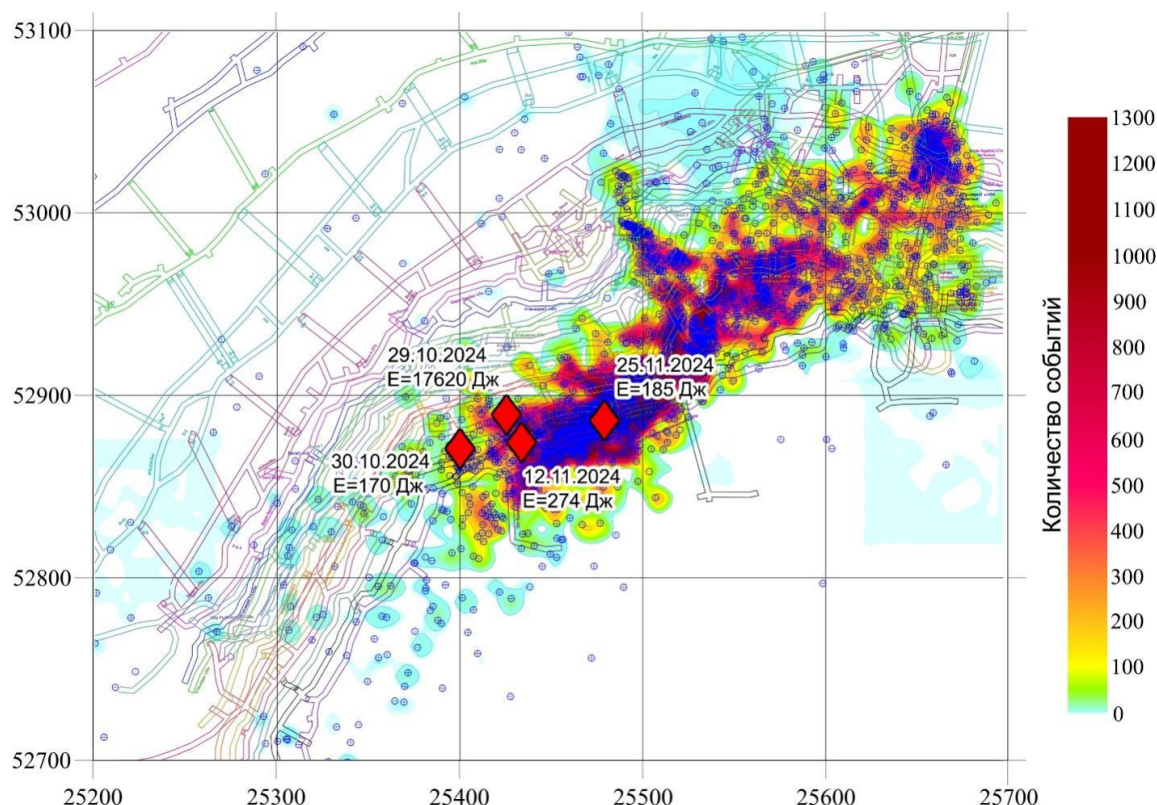


Рис. 13. Карта сейсмоакустической активности и толчки, зарегистрированные в массиве Южного месторождения за период с января по ноябрь 2024 г. в проекции на совмещенный план горизонтов

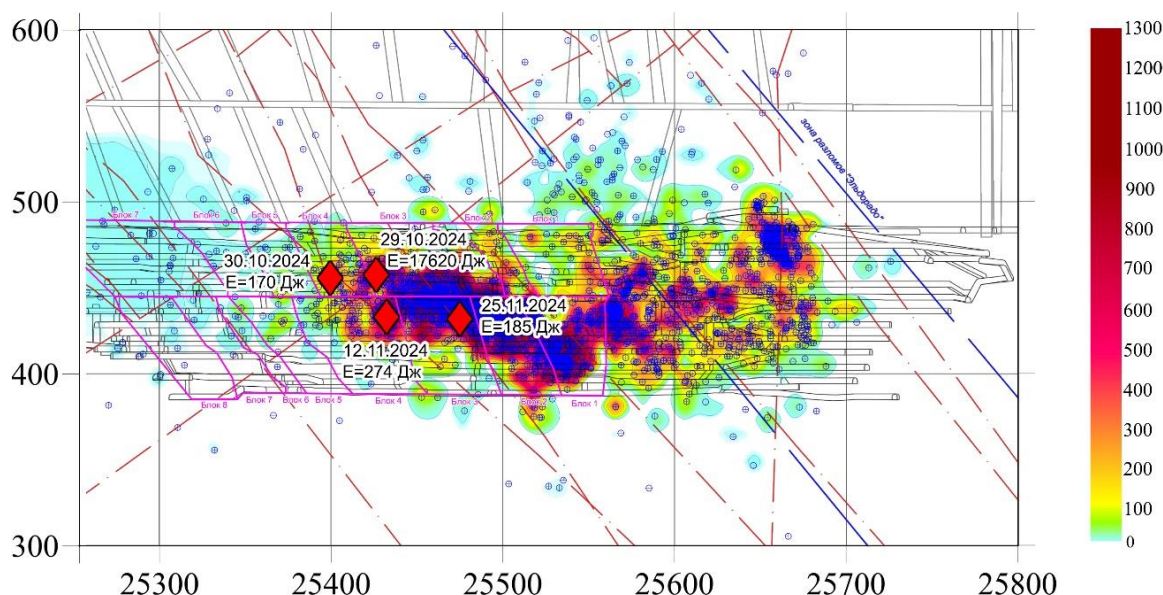


Рис. 14. Карта сейсмоакустической активности и толчки, зарегистрированные в массиве Южного месторождения за период с января по ноябрь 2024 г. в проекции на плоскость XZ

Выводы

По результатам инструментальных измерений параметров сейсмоакустической активности с применением АСКГД «Prognoz-ADS» в массиве горных пород Южного месторождения получены новые экспериментальные данные, позволяющие оценить характер и возможную причину возникающих в массиве динамических проявлений

горного давления. Отсутствие фиксации толчка 3 марта и серии из 3-х толчков 16 ноября системой «Prognoz-ADS» связано со значительным отдалением места их реализации от зоны мониторинга. В связи с этим настоятельно рекомендуется расширить зону мониторинга автоматизированной системы контроля горного давления «Prognoz-ADS» в юго-западном направлении для повышения качества оценки влияния очистной выемки на активизацию зон тектонических нарушений «Солнечная», «Эльдорадо» и «Восточная», разлома «Рудный» и других разрывных нарушений, подвижки вдоль которых могут являться одной из причин наблюдающейся здесь техногенной сейсмичности. Результаты дальнейших исследований могут послужить основой для научного обоснования способов предотвращения горных ударов, оптимизации параметров разгрузочных мероприятий, а также охраны и поддержания горных выработок при отработке удароопасных участков месторождения.

Комплексный анализ данных сейсмоакустического контроля показал, что одной из причин проявлений горного давления в динамической форме на месторождении Николаевское является блочность массива месторождений, которая обусловлена пересечением субширотного разлома зонами субмеридиональных разрывных нарушений ТН1, ТН2, ТН3. Зоны нарушений на месторождениях прослежены на длину более 10 км и представлены хорошо выраженными сместителями со следами смещений по простиранию.

Список литературы

1. Ломов М.А., 2024. Исследование условий возникновения динамических проявлений горного давления на месторождении Южное (Приморский край) с применением цифровых моделей природно-технических систем. *Проблемы недропользования*, № 3(42), С. 32-40.
2. Ломов М.А., 2024. Исследование условий возникновения динамических проявлений горного давления потенциально удароопасных участков Николаевского месторождения (Приморский край). *Молодые ученые - Хабаровскому краю: Материалы XXVI краевого конкурса молодых ученых, Хабаровск, 16–22 января 2024 года*. Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, С. 52-56.
3. Besimbayeva O.G., Khmyrova E.N., Tutanova M.S. et al., 2023. Modern data analysis technologies used for geomechanical monitoring. Review. *Комплексное использование минерального сырья*, No. 3(326), P. 5-15.
4. Polo Salinas J., Marquina Araujo J.J. & Cotrina Teatino M.A., 2024. Uncertainty in underground mining operations: a bibliometric and systematic literature review analysis. *World Journal of Engineering*. URL: <https://doi.org/10.1108/WJE-07-2024-0388> (дата обращения 25.03.2025)
5. Castro L.B., Bewick R. & Carter T., 2012. *An overview of numerical modelling applied to deep mining*. URL: <https://www.researchgate.net/publication/281315896> (дата обращения 27.03.2025)
6. Рассказов И.Ю., Батугин А.С., Федотова Ю.В., Потапчук М.И., 2023. Оценка склонности месторождения к проявлению горно-тектонических ударов (на примере месторождения Южное). *Горный журнал*, № 1, С.74-78
7. Рассказов И.Ю., 2008. *Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона*. Москва: Издательство «Горная книга», 329 с.
8. Sidorov D.V., Ponomarenko T.V., 2020. Estimation methodology for geodynamic behavior of nature-and-technology systems in implementation of mineral mining projects. *Gornyi Zhurnal*, № 1, С. 49-52. doi:10.17580/gzh.2020.01.09
9. 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.
10. Потапчук М.И., Курсакин Г.А., Сидляр А.В., 2013. Повышение безопасности

разработки удароопасных жильных месторождений Восточного Приморья. *Горный журнал*, № 10, С. 30-34.

11. 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.

References

1. Lomov M.A., 2024. Issledovanie uslovii vozniknoveniya dinamicheskikh proyavlenii gornogo davleniya na mestorozhdenii Yuzhnoe (Primorskii krai) s primeneniem tsifrovyykh modelei prirodno-tekhnicheskikh system [Investigation of the conditions of occurrence of dynamic manifestations of rock pressure at the Yuzhnoye deposit (Primorsky Krai) using digital models of natural and technical systems]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 3(42), P. 32-40.

2. Lomov M.A., 2024. Issledovanie uslovii vozniknoveniya dinamicheskikh proyavlenii gornogo davleniya potentsial'no udaroopasnykh uchastkov Nikolaevskogo mestorozhdeniya (Primorskii krai) [Investigation of the conditions of occurrence of dynamic manifestations of rock pressure in potentially explosive areas of the Nikolaevsky deposit (Primorsky Krai)]. *Molodye uchenye - Khabarovskomu krayu: Materialy KhKhVI kraevogo konkursa molodykh uchenykh*, Khabarovsk, 16–22 yanvarya 2024 goda. Khabarovsk: Tikhookeanskii gosudarstvennyi universitet, P. 52-56.

3. Besimbayeva O.G., Khmyrova E.N., Tutanova M.S. et al., 2023. Modern data analysis technologies used for geomechanical monitoring. Review. *Комплексное использование минерального сырья*, No. 3(326), P. 5-15.

4. Polo Salinas J., Marquina Araujo J.J. & Cotrina Teatino M.A., 2024. Uncertainty in underground mining operations: a bibliometric and systematic literature review analysis. *World Journal of Engineering*. URL: <https://doi.org/10.1108/WJE-07-2024-0388> (data obrashcheniya 25.03.2025)

5. Castro L.B., Bewick R. & Carter T., 2012. *An overview of numerical modelling applied to deep mining*. URL: <https://www.researchgate.net/publication/281315896> (data obrashcheniya 27.03.2025)

6. Rasskazov I.Yu., Batugin A.S., Fedotova Yu.V., Potapchuk M.I., 2023. Otsenka sklonnosti mestorozhdeniya k proyavleniyu gorno-tektonicheskikh udarov (na primere mestorozhdeniya Yuzhnoe) [Assessment of the deposit's propensity to exhibit mining and tectonic impacts (using the example of the Yuzhnoye deposit)]. *Gornyi zhurnal*, № 1, P.74-78

7. Rasskazov I.Yu., 2008. Kontrol' i upravlenie gornym davleniem na rudnikakh Dal'nevostochnogo regiona [Control and management of rock pressure in the mines of the Far Eastern region]. Moscow: Izdatel'stvo "Gornaya kniga", 329 p.

8. Sidorov D.V., Ponomarenko T.V., 2020. Estimation methodology for geodynamic behavior of nature-and-technology systems in implementation of mineral mining projects. *Gornyi Zhurnal*, № 1, P. 49-52. doi:10.17580/gzh.2020.01.09

9. 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.

10. 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 Eastern Primorye]. *Gornyi zhurnal*, № 10, P. 30-34.

11. 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 birthplace of Yuzhnoye (Primorsky Krai)]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 12-2, P. 87-99.