

УДК 622.831:550.83

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

**АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ  
СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО  
МОНИТОРИНГА МАССИВА  
НИКОЛАЕВСКОГО РУДНИКА  
ПО ДАННЫМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ  
СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ  
ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ\***

*Аннотация:*

*В условиях истощения запасов минерального сырья на малых глубинах мировая горнодобывающая промышленность вынуждена переходить к освоению глубокозалегающих месторождений. Главным вызовом для безопасности на глубоких горизонтах становится рост геодинамической активности. Несмотря на технологический прогресс, проблема внезапных динамических проявлений горного давления остается до конца не решенной, требуя перехода от статических оценок к анализу рисков в режиме реального времени.*

*Целью настоящей работы является повышение безопасности подземной добычи на Николаевском месторождении посредством детальной интерпретации данных автоматизированной системы контроля горного давления «Prognoz-ADS». В апреле 2025 г. была запущена первая очередь наблюдательной сети из 20 датчиков, охватывающая горизонты 348–446 м и зону активного разлома ТН-3. В статье представлены результаты анализа 967 акустических событий, зафиксированных в период с апреля по декабрь 2025 г. Особое внимание уделено исследованию крупного горного удара энергией 71 кДж, произошедшего в блоке ОПБ на пересечении тектонических нарушений. Выполнено сопоставление динамики акустической эмиссии с объемами добычных работ в рудных зонах «Восток-1» и «Харьковская», а также с региональной сейсмической обстановкой в радиусе 500 км, включая акваторию Японского моря.*

*Установлено, что распределение событий во времени носит волнообразный характер. Статистический анализ показал слабую корреляцию внутришахтных событий с региональной естественной сейсмичностью. При этом выявлена устойчивая связь с техногенными факторами: пики акустической активности коррелируют с изменениями интенсивности горных работ. Подтверждено, что большинство событий*

DOI: 10.25635/2313-1586.2026.01.057

**Lomov Mikhail A.**  
Junior Researcher,  
Institute of Mining FEB RAS,  
680000 Khabarovsk, 51 Turgenev Str.  
e-mail: [9241515400@mail.ru](mailto:9241515400@mail.ru)

**RESULTS ANALYSIS OF SEISMIC  
AND ACOUSTIC MONITORING  
OF THE NIKOLAEVSKY FIELD MASSIF  
ACCORDING TO THE DATA  
OF THE AUTOMATED ROCK PRESSURE  
CONTROL SYSTEM**

*Abstract:*

*In conditions of depletion of mineral reserves at shallow depths, the global mining industry is forced to move to the development of deep-lying deposits. The main challenge to safety at deep horizons is the growth of geodynamic activity. Despite technological progress, the problem of sudden dynamic manifestations of rock pressure remains unresolved, requiring a transition from static assessments to real-time risk analysis.*

*The purpose of this work is to increase the safety of underground mining at the Nikolaevsky field through a detailed interpretation of data from the automated rock pressure monitoring system "Prognoz-ADS". In April 2025, the first stage of the observation network of 20 sensors was launched, covering horizons 348–446 m and the active fault zone TN-3. The article presents the results of the analysis of 967 acoustic events recorded in the period from April to December 2025. Special attention is paid to the study of a large rock impact with an energy of 71 kJ that occurred in the OPB block at the intersection of tectonic faults. The dynamics of acoustic emissions were compared with the volumes of mining operations in the Vostok-1 and Kharkiv ore zones, as well as with the regional seismic situation within a radius of 500 km, including the Sea of Japan.*

*The study has established that the distribution of events in time has a wave-like character. Statistical analysis showed a weak correlation of in-mine events with regional natural seismicity. At the same time, a stable relationship with man-made factors was revealed: peaks of acoustic activity correlate with changes in the intensity of mining operations. It has been confirmed that most of the events are concentrated in zones of geological heterogeneities. The data obtained indicate the effectiveness of the implemented system for detecting potential impact hazards and substantiate the need for further expansion of the geophone network.*

\* Технологические и аналитические исследования проведены с использованием ресурсов Центра коллективного пользования «ЦИМС» ХФИЦ ДВО РАН, финансируемого Российской Федерацией в лице Минобрнауки России по соглашению № 075-15-2025-621.

концентрируется в зонах геологических неоднородностей. Полученные данные свидетельствуют об эффективности внедренной системы для выявления очагов потенциальной удароопасности и обосновывают необходимость дальнейшего расширения сети геофонов.

*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

В условиях истощения запасов минерального сырья на малых глубинах мировая горнодобывающая промышленность вынуждена переходить к освоению глубокозалегающих месторождений. Эта тенденция, продиктованная растущим спросом на ресурсы, неизбежно ведет к усложнению условий ведения горных работ. Специфика разработки на больших глубинах заключается не только в логистических трудностях, но и в качественном изменении физического состояния недр: воздействие высоких температур и колоссальное давление создают предпосылки для термомеханического разрушения пород, что делает опыт поверхностной добычи малоприменимым в новых реалиях [1 – 3].

Главным вызовом для безопасности на глубоких горизонтах становится рост геодинамической активности. Горный массив, представляющий собой не сплошной монолит, а сложную систему блоков и тектонических разломов, реагирует на вмешательство человека непредсказуемым перераспределением напряжений. В зонах повышенной концентрации нагрузок это приводит к опасным явлениям – от деформации выработок до катастрофических горных ударов. Прогнозирование подобных событий осложняется неоднородностью геологической среды, где несущая способность участков варьируется в зависимости от типа трещиноватости и напряженного состояния [2, 4 – 5].

Современная геомеханика рассматривает природу горных ударов как результат критического накопления энергии. Разрушение происходит в момент, когда суммарное воздействие статических сил горного давления и динамических нагрузок превышает предел прочности массива. Наибольшую угрозу представляют зоны вблизи тектонических разломов и выработанных пространств, где геологические нарушения выступают катализаторами мгновенного высвобождения энергии. С учетом внезапности и разрушительной силы таких явлений разработка методов их ранней диагностики является приоритетной задачей индустрии [3, 6 – 7].

Для минимизации рисков на практике применяется широкий спектр инженерных решений, направленных на управление горным давлением. К ним относятся технологии принудительного обрушения кровли для разгрузки массива, использование методов гидроразрыва для создания зон ослабления, а также постоянный мониторинг деформаций с помощью инклинометрии и реперных точек. Однако выбор конкретной методики всегда зависит от уникальных характеристик месторождения, и на данный момент универсальной стратегии, гарантирующей полную безопасность, не существует [8 – 10].

Фундаментальные исследования показывают, что макроскопическому разрушению породы всегда предшествует процесс образования микротрещин. Именно этот факт делает акустический метод мониторинга одним из наиболее перспективных инструментов прогноза. Регистрация сигналов акустической эмиссии (АЭ) позволяет «услышать» процессы деформации внутри массива задолго до визуальных проявлений. Фактически АЭ представляет собой аналог сейсмических волн при землетрясениях, но в микромасштабе, сигнализируя о накоплении упругой энергии и приближении критической точки разрушения [7, 11– 12].

Если ранее прогнозы строились на фиксации уже случившихся предвестников, таких как звуковые щелчки или шелушение, то современные подходы ориентированы на

анализ данных, получаемых в периоды относительного сейсмического затишья. Однако огромные массивы информации, поступающие с датчиков, делают ручную обработку неэффективной. Это стимулировало внедрение интеллектуальных систем анализа. Использование нейронных сетей и алгоритмов машинного обучения позволяет выявлять скрытые закономерности в микросейсмической активности, учитывая при этом исторические данные о ранее произошедших событиях для повышения точности моделей [13 – 15].

Несмотря на технологический прогресс, проблема внезапных динамических проявлений горного давления остается до конца не решенной, требуя перехода от статических оценок к динамическому анализу рисков в режиме реального времени. Актуальность темы обусловлена необходимостью совершенствования алгоритмов интерпретации геофизических данных для предотвращения аварийных ситуаций. Целью настоящей работы является повышение безопасности подземной добычи посредством детального анализа данных системы акустического мониторинга. Исследование направлено на выявление прогностических признаков, позволяющих заблаговременно предупреждать возникновение горных ударов и иных динамических явлений.

#### *Геомеханический мониторинг на Николаевском месторождении*

На Николаевском месторождении в 2025 г. проводилась модернизация наблюдательной сети АСКГД «Prognoz-ADS», по результатам которой в апреле запущена в эксплуатацию ее первая часть, состоящая из 20 датчиков. Приемные преобразователи (акселерометры) установлены на горизонтах -446; -433; -420; -409; -400; -390; -375; -348 м. Первая очередь наблюдательной сети обеспечивает контроль горного массива в районе рудной зоны «Восток-1» и Блока 8 и зоны «Харьковская». В зоне контроля АСКГД находится геодинамически активный разлом ТНЗ, фактически делящий рудничное поле на западную и восточную часть.

По данным геомеханического мониторинга АСКГД «Prognoz-ADS» за период наблюдений апрель – декабрь 2025 г. зафиксировано 967 акустических событий. Помесячное распределение количества и суммарной энергии АЭ-событий в массиве Николаевского рудника показано на рис. 1, а на рис. 2 – их пространственное расположение в 3D модели месторождения.

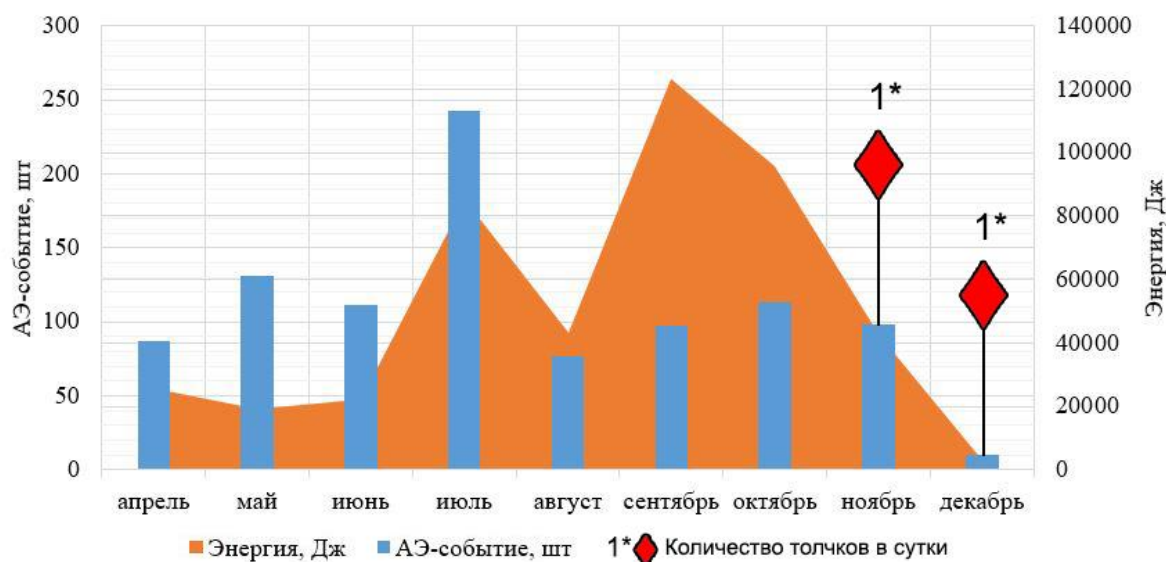


Рис. 1. Помесячное распределение количества и суммарной энергии АЭ-событий в массиве Николаевского рудника за период с апреля по декабрь 2025 г.

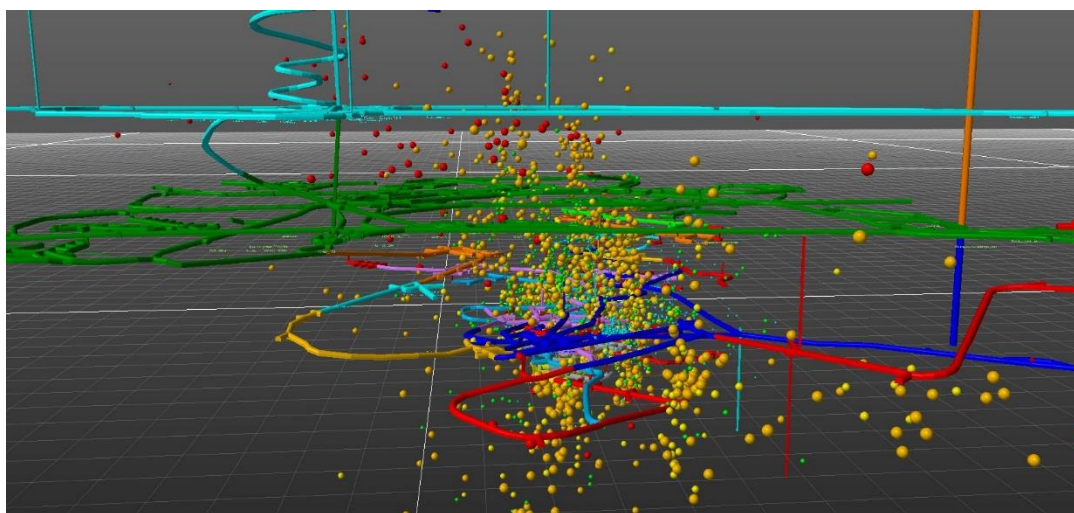


Рис. 2. Результаты сейсмоакустического мониторинга участка массива Николаевского рудника за период с апреля по декабрь 2025 г. в 3D модели

Наиболее крупное сейсмоакустическое событие энергией 71 кДж зарегистрировано в 04:29 10.12.2025 в районе ОПБ на гор. -432 м в месте пересечения блока с рядом тектонических нарушений. Событие сопровождалось резким звуком, сотрясанием массива на гор. -320, -420, -450 м, а также здания поверхностного комплекса. Было выброшено более  $10 \text{ м}^3$  породы.

#### *Анализ результатов сейсмоакустического мониторинга*

На Николаевском месторождении в 2025 г. работы велись преимущественно на горизонтах -375 м в пределах Блока 8 камеры 2, Харьковской рудной зоны, -433 и 446 м в районах Блоков Северный и ОПБ рудной зоны Восток-1. Объемы добычных работ в 2025 г. в пределах Блока 8 камеры 2 Харьковской рудной зоны составили 61678 т, в пределах блока ОПБ – 45279 т, блока Северный – 24072 т. Распределение количества АЭ-событий, зарегистрированных АСКГД «Prognoz-ADS» по времени, имеет волнообразный характер с пиками в июле и сентябре (рис. 3).

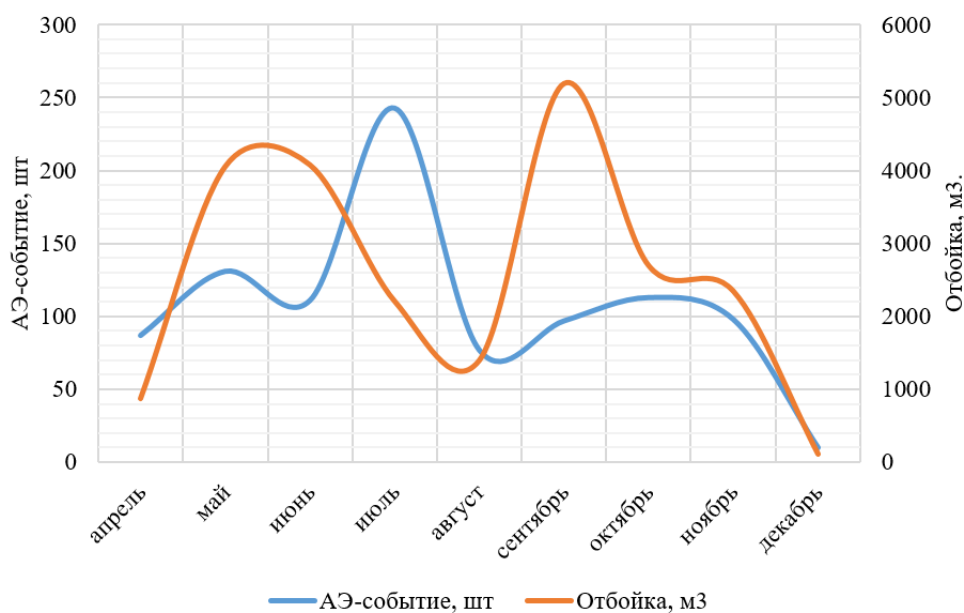


Рис. 3. Помесячное распределение количества АЭ-событий и объема отбитой руды в массиве Николаевского рудника за период с апреля по декабрь 2025 г.

На основе проведенного анализа установлено следующее: проявления АЭ-событий на месторождении имеют волнообразный характер и коррелируют с изменениями в интенсивности и объеме добычных работ с периодом в 1–2 месяца. Наибольшее количество АЭ-событий расположено в зоне пересечения горных выработок с геологическими разломами (рис. 4).

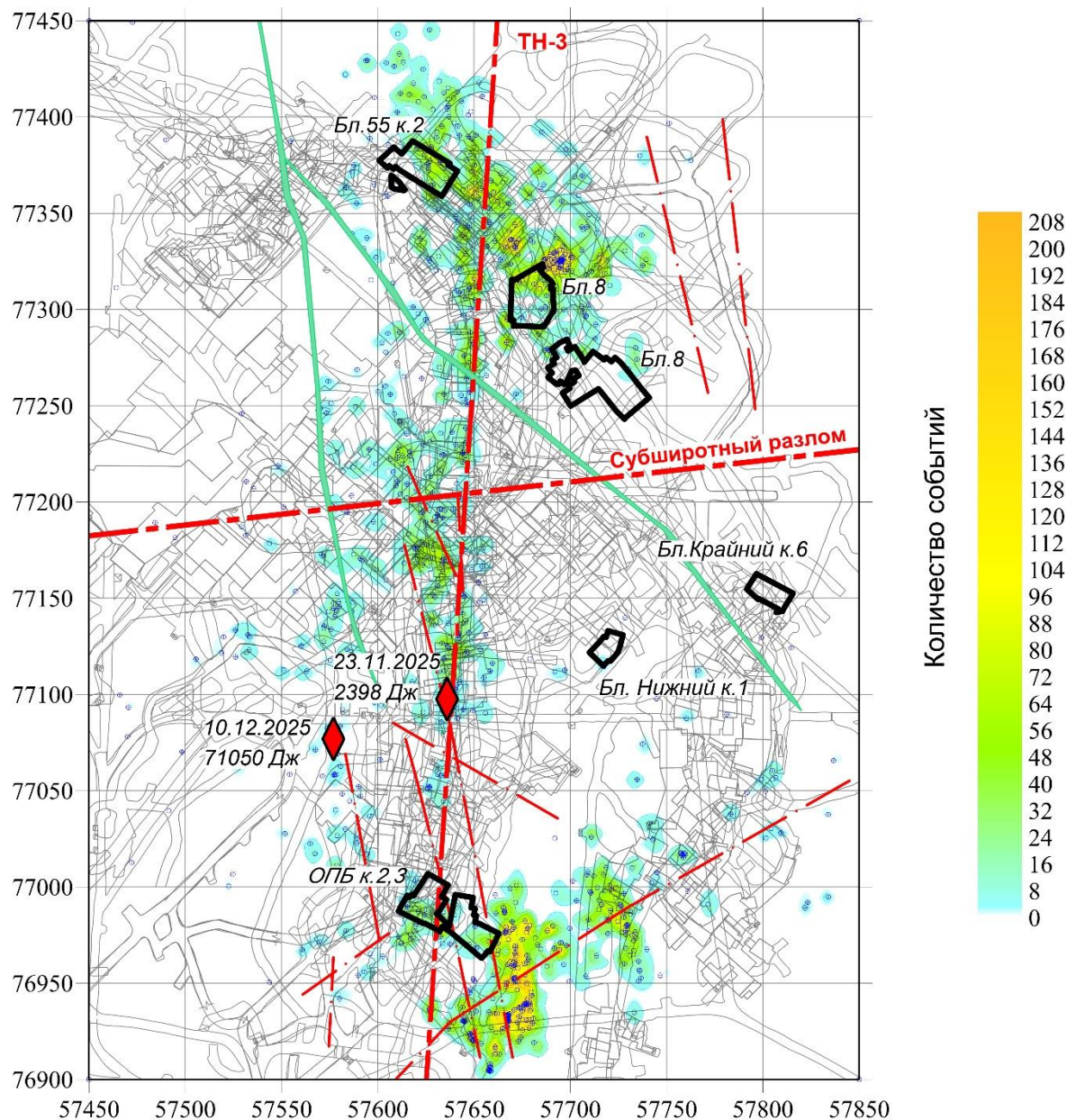


Рис. 4. Карта сейсмоакустической активности, зарегистрированной в массиве Николаевского рудника за период с апреля по декабрь 2025 г. в проекции на совмещенный план горизонтов

Возможными внешними триггерами, способными влиять на напряженно-деформированное состояние горного массива месторождения (в частности повышения количества АЭ-событий), традиционно рассматриваются изменения горнотехнических условий, геодинамической обстановки в регионе. Поэтому был проведен анализ региональной сейсмической обстановки. В выборку землетрясений попали события магнитудой от 3 до 6, зарегистрированные в 2025 г. по данным ФИЦ ЕГС РАН в радиусе 500 километров от г. Дальнегорск (рис. 5).

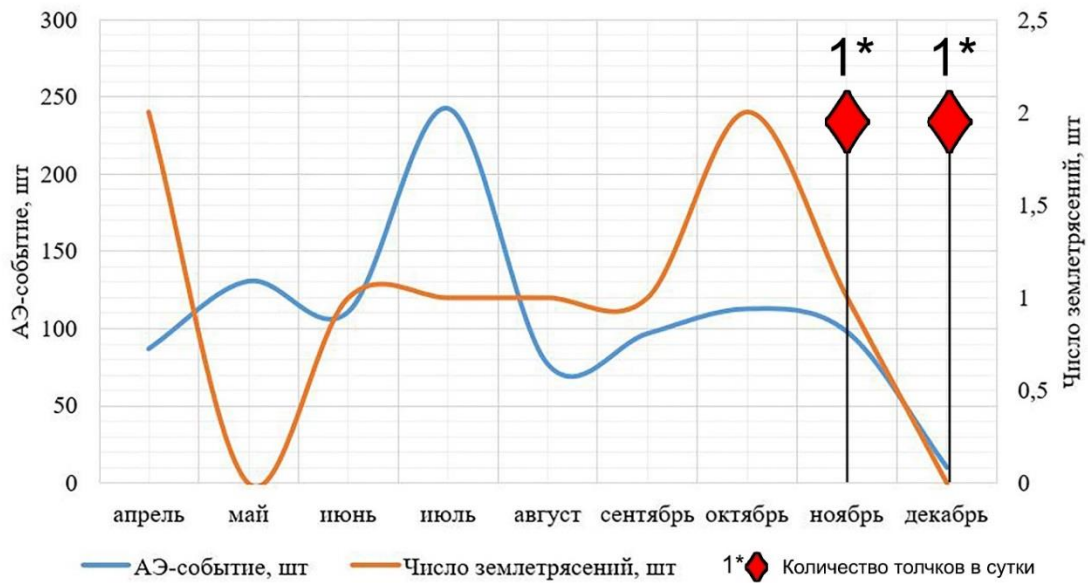


Рис. 5. Помесячное распределение количества АЭ-событий в массиве Николаевского рудника и количества землетрясений

На основе проведенного анализа установлено следующее: региональная сейсмичность так же, как и проявления АЭ-событий на месторождении, имеет волнообразный характер, но слабую корреляцию.

Эпицентр наибольшего количества землетрясений располагается в восточной части Японского (Восточного) моря. На рис. 6 показано их пространственное распределение.

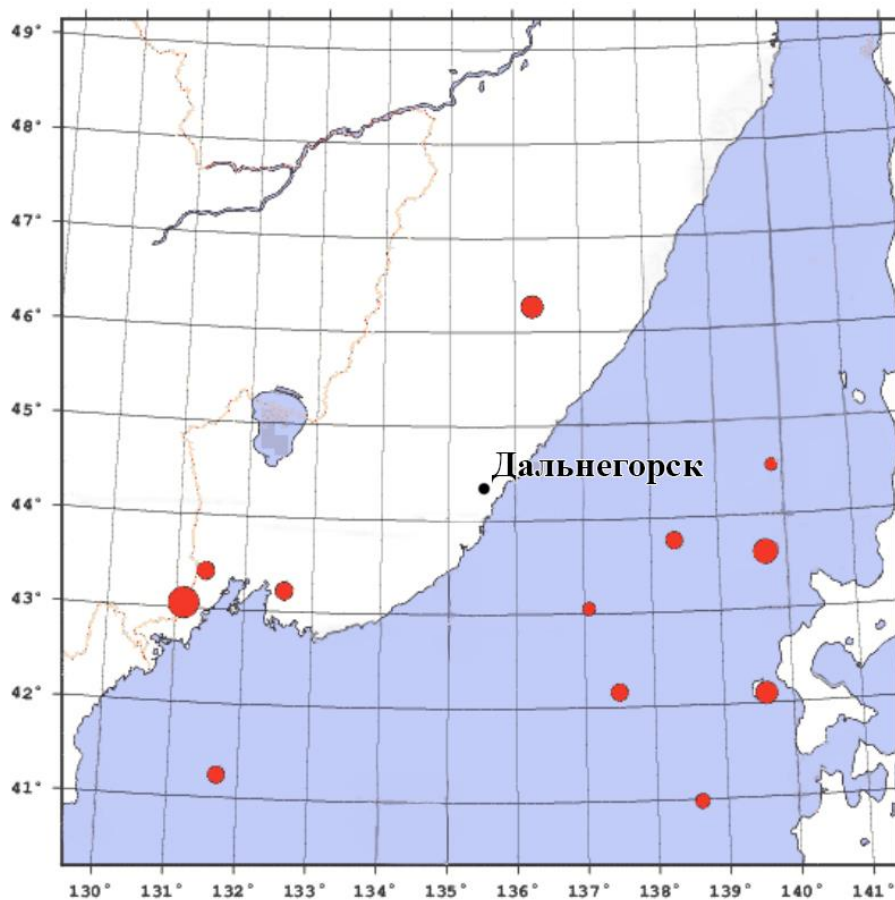


Рис. 6. Пространственное распределение землетрясений, зарегистрированных в 2025 г. по территории юга Дальнего Востока по данным ФИЦ ЕГС РАН

### Выводы

На Николаевском месторождении в 2025 г. проводилась модернизация наблюдательной сети АСКГД «Prognoz-ADS», по результатам которой в апреле запущена в эксплуатацию ее первая часть, состоящая из 20 датчиков. В дальнейшем планируется расширение сети геофонов для повышения качества и надежности геомеханического мониторинга.

По результатам экспериментальных исследований удароопасности в условиях месторождения Николаевское получены новые данные о параметрах формирующихся полей напряжений и очагах потенциальной удароопасности в массивах горных пород. Установлено, что проявления АЭ-событий на месторождении имеют волнообразный характер и коррелируют с изменениями в интенсивности и объеме добычных работ с периодом в 1–2 месяца.

### Список литературы

1. Zhang J., Bai X., Song Z. et al., 2025. Research Progress and Perspectives on Prevention and Control Technologies for Coal–Rock–Gas Composite Dynamic Disasters: New Types of Induced Classifications, Discriminant Criteria, and Structural Control Schemes. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, V. 58, p. 10143–10181. <https://doi.org/10.1007/s00603-025-04657-8>
2. Ломов М.А., Бурдинская А.А., 2025. Экспериментальные исследования удароопасности на рудниках Дальневосточного региона. *Проблемы недропользования*, № 1(44), С. 53-63. DOI 10.25635/2313-1586.2025.01.053.
3. Кирсанов А.К., Вохмин С.А., Бархатов Д.В., 2025. Оценка рисков при подготовке к разработке месторождения на глубоких горизонтах (на примере шахты «Глубокая» рудника «Скалистый»). *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, № 1, С. 66-77.
4. Жабко А.В., 2025. Устойчивость трещиновато-блочного горного массива при открытой и подземной разработке месторождений. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 1, С. 39-54. DOI 10.21440/0536-1028-2025-1-39-54.
5. Ломов М.А., 2023. Аварии в горной промышленности в России, произошедшие вследствие динамических проявлений в горном массиве. Контроль горного давления на месторождении «Южное» (Приморский край). *Проблемы недропользования*, № 1(36), С. 85-92. DOI 10.25635/2313-1586.2023.01.085.
6. Liu Wj., Hou Mj., Dong Ss. et al., 2024. Rock burst prevention and control of multifold coupling in longwall working face. *Applied Geophysics*, V. 21, P. 119–132. <https://doi.org/10.1007/s11770-023-1013-3>
7. Lu A., Song D., Li Z. et al., 2025. Numerical Simulation Study on Microseismic Characteristics and Rockburst Hazard Prediction in Deep Mining of Steeply Inclined Coal Seams. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, V. 58, P. 2465–2486. <https://doi.org/10.1007/s00603-024-04288-5>
8. Konurin A.I., Orlov D.V., 2025. Artificial Intelligence in Prediction of Geodynamic Phenomena in Rock Masses. *Journal of Mining Science*, V. 61, P. 507–517. <https://doi.org/10.1134/S1062739125030184>
9. Eneyew D.M., Adamu A.Y., Ejigu A.A. et al., 2026. Stability Assessment and Pillar Design of Underground Drift in Opal-Bearing Rock Masses: A Case Study from Wollo Opal Mining, Ethiopia. *Geotechnical and Geological Engineering*, V. 44, article number 19. <https://doi.org/10.1007/s10706-025-03309-6>
10. Арно В.В., Миккельсен Е.А., Колесниченко Е.П., 2025. Управление горным давлением при подземной отработке на примере месторождения «Купол». *Вестник Северо-Восточного государственного университета*, № 43, С. 104-108.

11. Sheehan J., Zhai Q., Chuang L.Y. et al., 2025. Applying EQTransformer to laboratory earthquakes: detecting and picking acoustic emissions with machine learning. *Earth Planets Space*, V. 77, P. 116. <https://doi.org/10.1186/s40623-025-02237-2>
12. Потапчук М.И., Сидляр А.В., Бурдинская А.А., Ломов М.А., 2025. Оценка склонности к горным ударам нижней части месторождения «Красивое». *Горная промышленность*, № S4, С. 116-121. DOI 10.30686/1609-9192-2025-4S-116-121.
13. Zhang S., Mu C., Feng X. et al., 2024. Intelligent Dynamic Warning Method of Rockburst Risk and Level Based on Recurrent Neural Network. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, V. 57, P. 3509–3529. <https://doi.org/10.1007/s00603-023-03715-3>
14. Ломов М.А., Гладырь А.В., 2020. Графическое представление результатов сейсмоакустического мониторинга на Расвумчоррском и Объединенном Кировском рудниках. *Проблемы недropol'zovaniya*, № 2(25), С. 154-159. DOI 10.25635/2313-1586.2020.02.154.
15. Прохоров К.В., Гладырь А.В., Рассказов М.И., 2020. Центр коллективного пользования «Центр исследования минерального сырья». *Горная промышленность*, № 4, С. 120–124. DOI: <http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2020-4-120-124>. - ISSN: 1609-9192.

### References

1. Zhang J., Bai X., Song Z. et al., 2025. Research Progress and Perspectives on Prevention and Control Technologies for Coal–Rock–Gas Composite Dynamic Disasters: New Types of Induced Classifications, Discriminant Criteria, and Structural Control Schemes. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, V. 58, p. 10143–10181. <https://doi.org/10.1007/s00603-025-04657-8>
2. Lomov M.A., Burdinskaya A.A., 2025. Eksperimental'nye issledovaniya udaroopasnosti na rudnikakh Dal'nevostochnogo regiona [Experimental studies of the impact hazard in the mines of the Far Eastern region]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 1(44), P. 53-63. DOI 10.25635/2313-1586.2025.01.053.
3. Kirsanov A.K., Vokhmin S.A., Barkhatov D.V., 2025. Otsenka riskov pri podgotovke k razrabotke mestorozhdeniya na glubokikh gorizontakh (na primere shakhty "Glubokaya' rudnika "Skalystyi") [Risk assessment in preparation for the development of a deposit on deep horizons (using the example of the mine Glubokaya of the Skalysty pit)]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, № 1, P. 66-77.
4. Zhabko A.V., 2025. Ustoichivost' treshchinovato-blochnogo gornogo massiva pri otkrytoi i podzemnoi razrabotke mestorozhdenii [Stability of a fractured-block mountain range during open and underground mining]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*, № 1, P. 39-54. DOI 10.21440/0536-1028-2025-1-39-54.
5. Lomov M.A., 2023. Avarii v gornoi promyshlennosti v Rossii, proizoshedshie vsledstvie dinamicheskikh proyavlenii v gornom massive. Kontrol' gornogo davleniya na mestorozhdenii "Yuzhnoe" (Primorskii krai) [Accidents in the mining industry of Russia, which occurred as a result of dynamic manifestations in the mountain range. Monitoring of rock pressure at the Yuzhnoye field (Primorsky Krai)]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 1(36), P. 85-92. DOI 10.25635/2313-1586.2023.01.085.
6. Liu Wj., Hou Mj., Dong Ss. et al., 2024. Rock burst prevention and control of multifold coupling in longwall working face. *Applied Geophysics*, V. 21, P. 119–132. <https://doi.org/10.1007/s11770-023-1013-3>
7. Lu A., Song D., Li Z. et al., 2025. Numerical Simulation Study on Microseismic Characteristics and Rockburst Hazard Prediction in Deep Mining of Steeply Inclined Coal Seams. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, V. 58, P. 2465–2486. <https://doi.org/10.1007/s00603-024-04288-5>
8. Konurin A.I., Orlov D.V., 2025. Artificial Intelligence in Prediction of Geodynamic Phenomena in Rock Masses. *Journal of Mining Science*, V. 61, P. 507–517. <https://doi.org/10.1134/S1062739125030184>

9. Eneyew D.M., Adamu A.Y., Ejigu A.A. et al., 2026. Stability Assessment and Pillar Design of Underground Drift in Opal-Bearing Rock Masses: A Case Study from Wollo Opal Mining, Ethiopia. *Geotechnical and Geological Engineering*, V. 44, article number 19. <https://doi.org/10.1007/s10706-025-03309-6>
10. Arno V.V., Mikkel'sen E.A., Kolesnichenko E.P., 2025. Upravlenie gornym davleniem pri podzemnoi otrabotke na primere mestorozhdeniya "Kupol" [Rock pressure management during underground mining using the example of the Kupol field]. *Vestnik Severo-Vostochnogo gosudarstvennogo universiteta*, № 43, P. 104-108.
11. Sheehan J., Zhai Q., Chuang L.Y. et al., 2025. Applying EQTransformer to laboratory earthquakes: detecting and picking acoustic emissions with machine learning. *Earth Planets Space*, V. 77, P. 116. <https://doi.org/10.1186/s40623-025-02237-2>
12. Potapchuk M.I., Sidlyar A.V., Burdinskaya A.A., Lomov M.A., 2025. Otsenka sklonnosti k gornym udaram nizhei chasti mestorozhdeniya "Krasivoe" [Assessment of the propensity to rock impacts in the lower part of the Krasivoye deposit]. *Gornaya promyshlennost'*, № S4, P. 116-121. DOI 10.30686/1609-9192-2025-4S-116-121.
13. Zhang S., Mu C., Feng X. et al., 2024. Intelligent Dynamic Warning Method of Rockburst Risk and Level Based on Recurrent Neural Network. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, V. 57, P. 3509–3529. <https://doi.org/10.1007/s00603-023-03715-3>
14. Lomov M.A., Gladyr' A.V., 2020. Graficheskoe predstavlenie rezul'tatov seismoakusticheskogo monitoringa na Rasvumchorrskom i Ob"edinennom Kirovskom rudnikakh [Graphical representation of the results of seismic and acoustic monitoring at the Rasvumchorrsky and United Kirovsky mines]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 2(25), P. 154-159. DOI 10.25635/2313-1586.2020.02.154.
15. Prokhorov K.V., Gladyr' A.V., Rasskazov M.I., 2020. Tsentr kollektivnogo pol'zovaniya "Tsentr issledovaniya mineral'nogo syr'ya" [Collective use center "Center for research of mineral raw materials"]. *Gornaya promyshlennost'*, № 4, P. 120–124. DOI: <http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2020-4-120-124>. - ISSN: 1609-9192.