

АНАЛИЗ ПРОЯВЛЕНИЙ ТЕХНОГЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ В УДАРООПАСНОМ МАССИВЕ ПОРОД НИКОЛАЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

И.Ю. Рассказов¹, Ю.В. Федотова¹, А.В. Сидляр¹, М.И. Потапчук¹

¹ Институт горного дела ДВО РАН – обособленное подразделение Хабаровского Федерального исследовательского центра ДВО РАН, Хабаровск, Россия, e-mail: rasskazov@igd.khv.ru

Аннотация: В последние годы значительно усложнилась геомеханическая ситуация на расположенном в Восточном Приморье удароопасном Николаевском месторождении, разрабатываемом АО «ГМК «Дальполиметалл». Для наблюдения за состоянием массива при ведении горных работ применяются геоакустические методы, поскольку повышенный уровень акустической активности массива горных пород напрямую связан с усилением процессов трещинообразования и подготовкой геодинамического события. Целью проводимых исследований является оценка характера процесса формирования очагов геодинамических явлений в массиве в районе активного разлома по базам данных геомониторинга за период с 2011 по 2019 гг. По результатам исследований установлено, что часть регистрируемых событий имеет как природный, так и техногенный триггер. Это подтверждается сменой характера распределения количества регистрируемых событий после изменения параметров взрывных смен. Выявленный характер геомеханических процессов показал тенденцию к усложнению условий разработки месторождения на нижних горизонтах. Причем с понижением уровня очистных работ глубже горизонта –440 м (глубина более 900 м) вероятность динамических проявлений горного давления и техногенной сейсмичности существенно возрастает. Сделан вывод о необходимости учета информации о свойствах и состоянии тектонической структуры, которая может быть получена с применением системы комплексного геомеханического мониторинга, что необходимо для обоснования региональных мер по снижению геодинамического риска.

Ключевые слова: массив горных пород, удароопасность, техногенная сейсмичность, горные удары, сейсмоакустический мониторинг, геодинамика, тектоническая структура, разлом, взрывные работы, управление горным давлением.

Для цитирования: Рассказов И. Ю., Федотова Ю. В., Сидляр А. В., Потапчук М. И. Анализ проявлений техногенной сейсмичности в удароопасном массиве пород Николаевского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 11. – С. 46–56. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-46-56.

Analysis of induced seismic events in rockburst-hazardous Nikolaevsk deposit

I.Yu. Rasskazov¹, Yu.V. Fedotova¹, A.V. Sydlyar¹, M.I. Potapchuk¹

¹ Mining Institute of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences – Separate Division of Federal Khabarovsk Research Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia, e-mail: rasskazov@igd.khv.ru

Abstract: Geomechanical situation in rockburst-hazardous Nikolaevsk deposit in operation of Dalpolimetal Mining and Metallurgical Company in the east of the Primorski Krai has gravely complicated recently. Rock mass monitoring during mining is carried out using geoacoustic methods as increased acoustic activity of rocks is directly connected with extensive fracturing and initiation of seismic events. The accomplished research was aimed to assess the behavior of seismic event sources in rock mass in the zone of an active fault using the geomonitoring data over a period from 2011 to 2019. The research has found that some events are both natural and induced. The finding is proved by the change in the number of the recorded events after modification of blast patterns. The revealed geomechanical behavior is reflective of complication of mining conditions on lower levels. As stoping is advanced below level -440 m (depth is more than 900 m from ground surface), the probability of dynamic phenomena associated with confining pressure and the risk of induced seismicity essentially grow. It is required to implement integrated geomechanical monitoring to obtain information on properties and tectonic structure of rocks mass for substantiation of activities aimed at regional geodynamic risk reduction.

Key words: rock mass, rockburst hazard, induced seismicity, rock bursts, seismo-acoustic monitoring, geodynamics, tectonic structure, fault, blasting, ground control.

For citation: Rasskazov I. Yu., Fedotova Yu. V., Sydlyar A. V., Potapchuk M. I. Analysis of induced seismic events in rockburst-hazardous Nikolaevsk deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(11):46-56. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-46-56.

Введение

На Дальнем Востоке России ведется разработка целого ряда склонных по горным ударам и удароопасных рудных месторождений. Наиболее остро проблема предупреждения опасных геодинамических явлений стоит на подземных рудниках АО «ГМК «Дальполиметалл» (Приморский край), где за годы их эксплуатации зарегистрирован весь спектр динамических проявлений горного давления. Особенно сложная геомеханическая ситуация сложилась на Николаевском полиметаллическом месторождении, самом глубоком из разрабатываемых в Дальневосточном регионе, на котором объем выработанных пространств превысил 4 млн м³, а горные работы ведутся на глубине 800 м и более [1].

Николаевское месторождение приурочено к восточной части тектонически активной Амурской литосферной плиты (или геоблоку) — крупному структурному элементу орогенного пояса, занимающему пограничную позицию между двумя жесткими блоками Земли: Севе-

ро-Азиатским и Сино-Корейским кратонами [2, 3]. Оно локализовано в краевой части одноименной вулканотектонической депрессии на стыке с породами Дальнегорского горста. Депрессия входит в состав мезозойского Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса.

Фундамент депрессии представлен кремнистыми сланцами, аргиллитами, алевролитами и песчаниками олистостромовой толщи, которая насыщена пластинами и крупными глыбами средневерхнетриасовых рифтогенных известняков. Формирование месторождения связывают с крупным магматическим очагом, приуроченным к краевой части Николаевской вулканотектонической структуры [4]. Основными структурными элементами, оказывающими непосредственное влияние на геодинамику массива месторождения, выступают крупная пластина известняков (олистолита) с размерами 1800×700×300 м и ряд крутопадающих разломов, в первую очередь, сложнопостроенная субмеридианальная тектоническая зона ТН-3.

Залежи локализируются на контакте олистолита с несогласно перекрывающимися их туфами липаритов, андезитов, в которых сформировались рудные тела сложной морфологии, линзы и жилы.

Начиная с 2015 г. на месторождении значительно выросли количество и энергия геодинамических событий [1]. Часто они происходили в виде серий толчков в глубине массива, в которых крупное разрушительное сейсмическое событие энергией до 10^5 – 10^6 Дж сопровождалось многочисленными афтершоковыми сотрясениями массива, наблюдающимися в течение 1–2 последующих за событием дней. Анализ проявлений техногенной сейсмичности на Николаевском месторождении свидетельствует об их тесной взаимосвязи с тектонической структурой массива горных пород, находящейся в предельно напряженном состоянии.

В этих условиях важной задачей является изучение процесса формирования очагов разрушения в удароопасном массиве горных пород для выявления закономерностей подготовки опасных геодинамических явлений и разработки дополнительных мер для повышения безопасности горных работ.

Методы и результаты геомеханического мониторинга на Николаевском месторождении

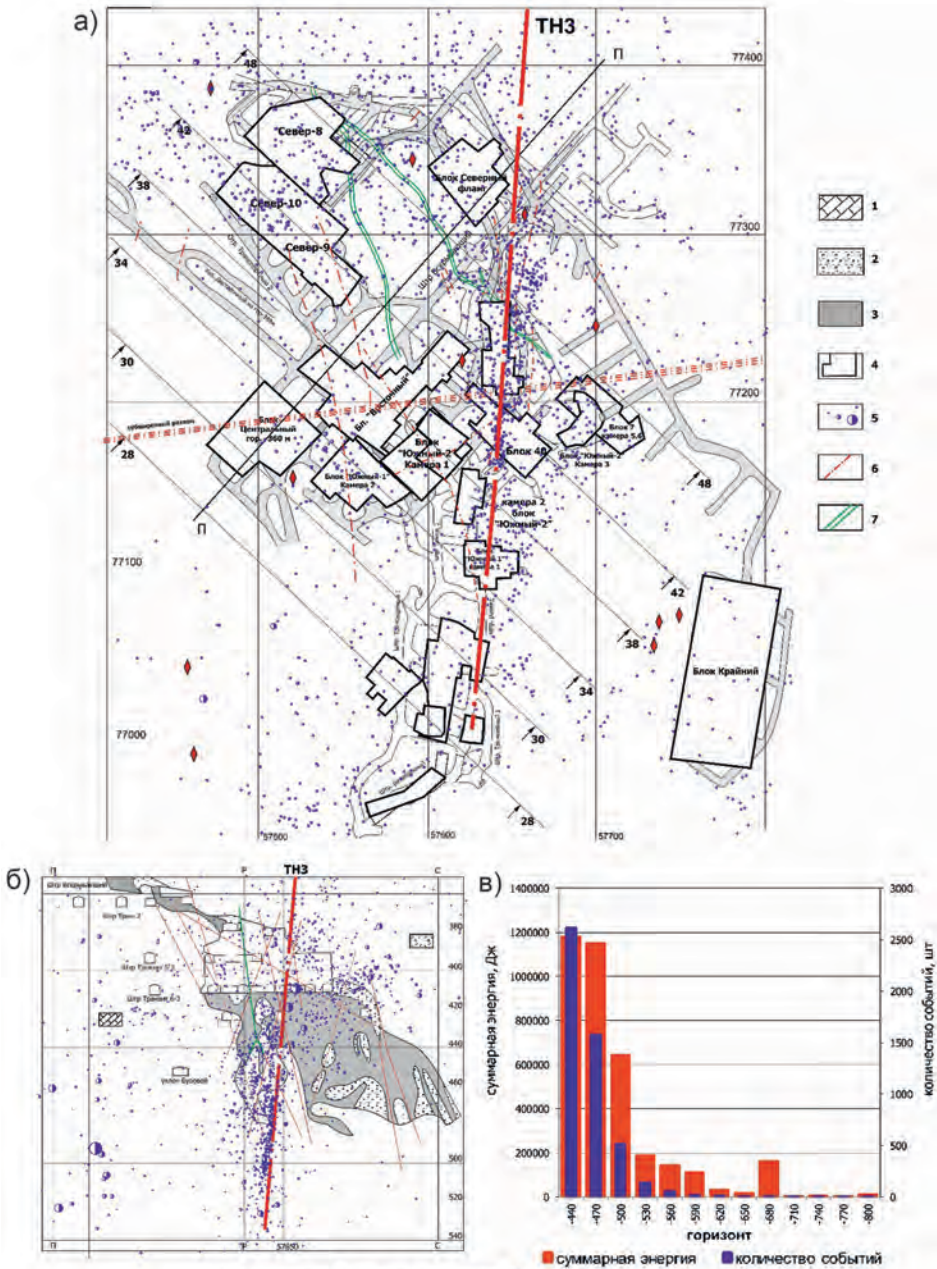
В условиях проявления природной и техногенной сейсмичности для контроля геомеханического состояния массива горных пород и прогноза его изменений наиболее широко применяются многоканальные системы геоакустического, микросейсмического и деформационного мониторинга [5–13]. Последние показали свою эффективность при изучении процессов современного разломообразования и оценки влияния активных разломов на напряженное состояние скальных массивов [14, 15].

На Николаевском месторождении для оценки удароопасности применяется многоканальная геоакустическая система контроля горного давления (АСКГД) «PrognozADS», позволяющая регистрировать и определять параметры сейсмических и акусто-эмиссионных событий (САЭ-событий) энергией от 10 до 10^6 Дж в частотном диапазоне 0,5–12 кГц [16, 17]. Данные регионального контроля верифицируются по результатам локальной оценки состояния массива прибором «PrognozL» и визуальных наблюдений за проявлениями горного давления [18]. В настоящее время наблюдательная сеть АСКГД включает в себя 34 датчика (геофона), установленных в скважинах, пробуренных из горных выработок на 9 горизонтах рудника в этаже –307... –433 м.

С 2011 г. на месторождении зарегистрировано свыше 58,5 тыс. САЭ-событий. Большая часть из них (31,4 тыс. – 53,7%) лоцируется в районе тектонически-активного разлома ТН-3, в том числе на 50–100 м ниже участков ведения горных работ (рис. 1). Отдельные события с высокой энергией регистрируются в отметках от –700... –600 м.

При исследовании закономерностей проявления акустической активности массива горных пород в зоне влияния разлома ТН-3 анализировалось распределение количества регистрируемых событий по времени суток. Поскольку с 2019 г. была изменена организация работ на руднике, включая длительность и количество взрывных смен, периоды 2011–2018 гг. (рис. 2, а) и 2019 г. (рис. 2, б) анализировались отдельно.

На приведенных диаграммах видно, что пики увеличения количества событий в основном связаны с окончанием времени взрывных смен. То есть триггерами САЭ-событий в определенное время суток являются взрывные работы. При этом две трети наиболее сильных



1 – известняки, 2 – туфы, 3 – руда, 4 – выработанное пространство,
 5 – события, зарегистрированные АСКГД "PrognozADS", 6 – тектонические нарушения, 7 – дайка

Рис. 1. Карта плотности пространственного распределения САЭ-событий в зоне разлома ТН-3, зарегистрированных в 2011 – 2019 гг. в проекции на совмещенном плане гор. –360 и –390 м (а) и в разрезе 40 – 40 (б), а также график распределения количества и энергии САЭ-событий в данной зоне по глубине (в)

Fig. 1. Map of the density of SAE events spatial distribution in the TD-3 fault zone registered in 2011 – 2019 in the projection on the level –390 (a) and in the cross-section 40 – 40 (b), as well as a graph of the distribution of the number and energy of SAE events in this zone by depth (b)

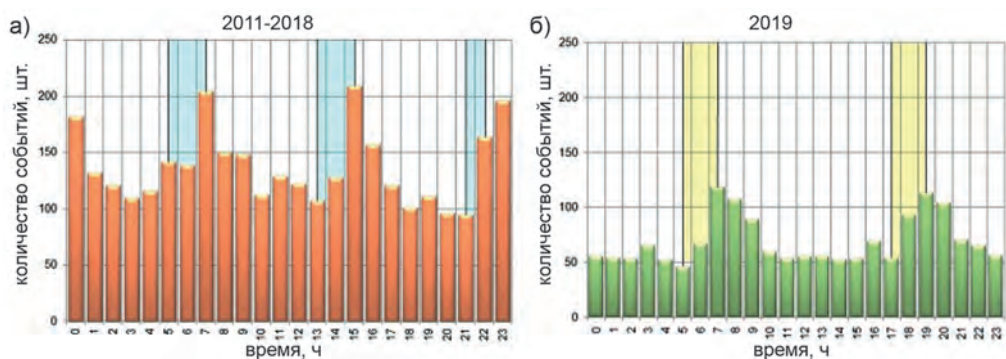


Рис. 2. Диаграммы распределения количества САЭ-событий, зарегистрированных за период с 2011 г. по 2018 г. (а) и 2019 г. (б)

Fig. 2. Diagrams of the number of SAE events registered for the period from 2011 to 2018 (a) and 2019 (b) distribution

событий, произошедших в массиве, по времени либо совпадают с ними, либо были зарегистрированы в течение двух часов после взрывов (рис. 2, а). Оставшаяся треть событий на гистограмме соответствует локальным минимумам суммарного количества событий, что говорит о природном триггере.

После изменения количества и времени взрывных смен в 2019 г., число регистрируемых событий уменьшилось (рис. 2, б), хотя тенденция распределения пиков по времени после взрывов осталась. Так, на фоне небольших пиков около 3:30 ч, 13:00 ч и 16:30 ч, выделяются два пика: максимальный 07:30 ч и чуть меньше 19:30 ч. При этом в массиве в период взрывных смен и в течение 2 ч после них произошло 4 толчка (весьма вероятно, что они инициированы техногенными триггерами) и один сильный толчок около 12:00 ч, вызванный природным триггером.

Характер проявлений удароопасности и техногенной сейсмичности на Николаевском руднике

Для исследования характера геомеханических процессов в горном массиве в районе тектонически активного разлома ТН-3 был проведен анализ ба-

зы данных крупных событий, зарегистрированных в период с 2011 по 2019 гг. С использованием выборки из 4950 САЭ-событий, зарегистрированных по разлому ТН-3 ниже отметки -450 м, построена кумулятивная кривая выделения сейсмоакустической энергии во времени (рис. 3). На рис. 3 красным цветом показан график распределения энергии зарегистрированных в этот период событий; синим — кумулятивная кривая накопления энергии; зеленым — выделены области, в которых ступеням кумулятивной кривой соответствуют энергетические всплески регистрируемых событий.

Анализ графиков показывает, что на протяжении всех последних лет на месторождении сохраняется общая тенденция увеличения выделения энергии САЭ-событий. 10 и 14 февраля 2012 г. горизонтах $-404,6$ м и $-408,2$ м в районе ТН-3 были зарегистрированы толчки, которые сопровождались сотрясением массива, пылеобразованием и сейсмическими колебаниями. Энергия первого, наиболее крупного толчка, зарегистрированного в районе блока Север-8, составила $1,06 \cdot 10^5$ Дж. Ранее в 2008 г. в данной зоне было зафиксировано 4 мощных динамических проявления, приуроченных к глыбе известняков в

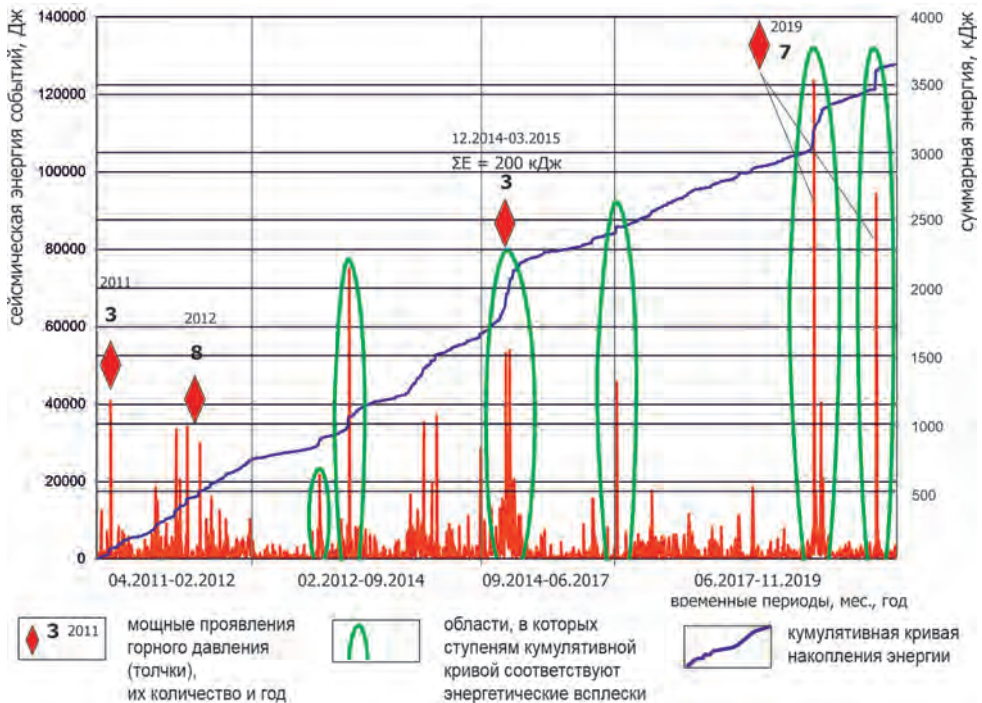


Рис. 3. Совмещенная кумулятивная кривая накопления энергии САЭ-событий и ее распределение в районе ТН-3 в период 2011 – 2019 гг.

Fig. 3. Combined cumulative curve of SAE-events energy accumulation with its distribution in the TD-3 area in the period 2011 – 2019

форме клина, отрезанной по двум граням дайковыми телами.

В декабре 2014 г. и марте 2015 г. на Николаевском руднике были зарегистрированы 3 толчка с суммарной энергией 215 000 Дж. Увеличение сейсмоакустической активности ниже гор. –450 м обусловлено подработкой массива на вышележащих горизонтах в районе блока 40, расположенного на пересечении с разломом ТН-3.

Начиная с октября 2015 г. геомеханическая ситуация на руднике значительно усложнилась. Всего за IV кв. 2015 г. здесь зарегистрировано 25 сильных динамических проявлений горного давления, включая серию разрушительных толчков в период с 05.10.2015 г. по 07.10.2015 г.

Ситуация на Николаевском руднике продолжала оставаться сложной и

в 2016 г. Так, 25 марта 2016 г. в 00 ч 57 мин в районе рудной залежи Восток-1 (блок 40) зарегистрировано сильное геодинамическое явление, которое сопровождалось мощным звуковым проявлением, сотрясанием всего шахтного поля и сейсмическими колебаниями, отмеченными в поверхностном комплексе рудника [1]. В результате этого геодинамического явления разрушены крепь и контур горных выработок на 4-х горизонтах. Объем разрушенной горной породы превысил 400 м³. Описываемое явление совпало по времени с землетрясением магнитудой 4 балла в пос. Каменка на побережье Японского моря. Крупное геодинамическое событие привело к образованию в массиве горных пород открытых разрывов и трещин протяженностью десятки метров. По границам разрывов наблюдались подня-

тия почвы на 10–12 см, а сами разрывы пространственно совпали с элементами тектонической структуры месторождения. Сейсмоакустическая активность в течение 3 суток после геодинамического события более чем в 3 раза превышала средний уровень. Особенно высокая сейсмоакустическая активность регистрировалась по границам олистолита и в зоне разлома ТН-3 в области ведения интенсивных горных работ.

Еще одно крупное геодинамическое событие произошло 6 апреля 2016 г. в 06 ч 47 мин на гор. –420 м в штреке № 1 в

узле пересечения субмеридионального тектонического нарушения ТН-3 с северо-восточной и субширотной зонами интенсивной трещиноватости. Эпицентр события находился также под днищем блока 40 рудной зоны Восток-1 и сопровождался сильным звуковым эффектом, сотрясением массива по всему шахтному полю, запылением выработок.

Целая серия проявлений техногенной сейсмичности, спровоцированная взрывными работами, зарегистрирована в ноябре 2018 г. Самое крупное сейсмическое событие энергией 194 144 Дж

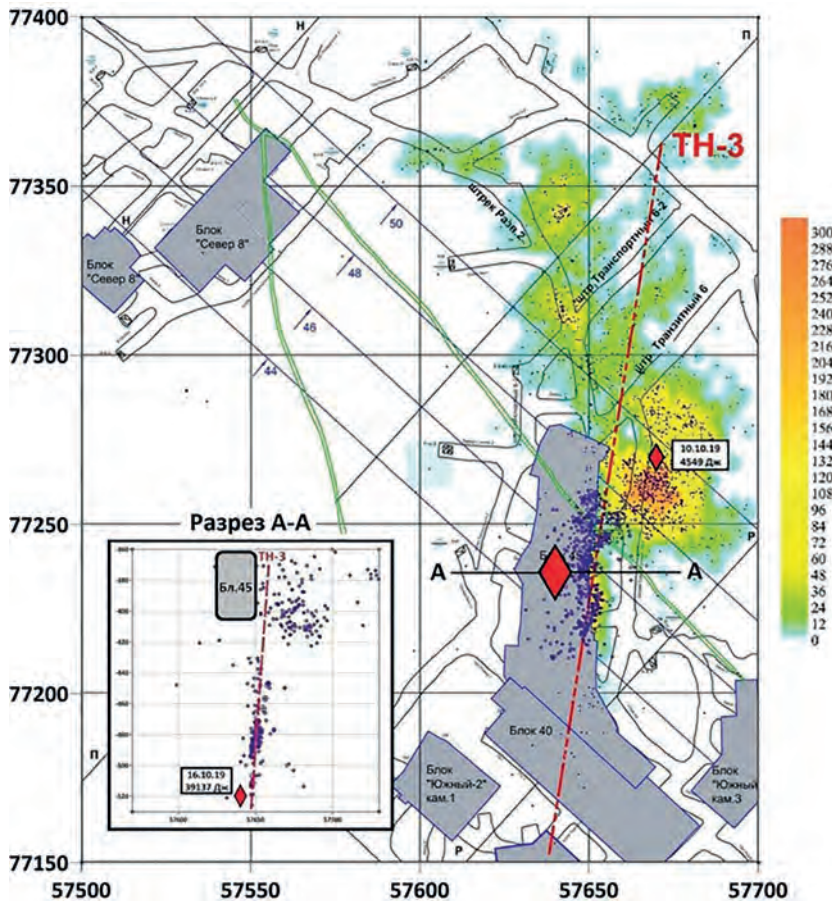


Рис. 4. Карта акустической активности и афтершоковых событий после крупных толчков, зарегистрированных в октябре 2019 г. на Николаевском руднике в проекции на гор. –406 м и разрез А-А

Fig. 4. Map of acoustic activity and aftershock events after major shocks registered in October 2019 at the Nikolaevsky mine in the projection on the level –406 m and cross-section A-A

было зарегистрировано на глубине более 900 м (гор. –501 м) ниже участков ведения горных работ. Оно вызвало разрушения горных выработок на гор. –433 м и сопровождалось многочисленными афтершоковыми сотрясениями массива, происходящими в течение двух последующих за событием дней. Всего с 16 по 18 ноября было зарегистрировано 134 афтершоковых события с суммарной энергией 81 534 Дж. В проекции на вертикальную плоскость область активизации имеет относительно компактный вид и располагается между абсолютными отметками –400...–525 м на глубинах 100–125 м ниже удароопасной кровли олистолита.

В 2019 г. на Николаевском месторождении было зарегистрировано 10 крупных геодинамических явлений, 7 из которых приурочены тектонически активному разлому ТН-3. Наиболее сильное сейсмическое событие с энергией 39 137 Дж зарегистрировано 16 октября в 11:34 в массиве горных пород в районе блока 45 камеры 2 (рис. 4). Оно сопровождалось сильным звуковым эффектом, сотрясением, обрушением по бортам и кровле выработки в районе сопряжения штреков Транзитный-7 и Транзитный 7-1. В этот же день в 12:01 зарегистрирован еще один толчок в зоне влияния опорного давления отработанных камер 1 и 2 блока 45 на глубине –491 м (см. рис. 4). Эпицентр события расположен на контакте руды с массивом известняка вблизи активного тектонического нарушения ТН-3. Динамическое проявление сопровождалось сотрясением массива от гор. –290 м до гор. –537 м и многочисленными афтершоковыми явлениями.

Еще одно крупное динамическое событие с энергией 11 916 Дж было зарегистрировано 17.11.2019 г. в 9:11, сопровождавшееся сильным звуковым эффектом, отмеченным на гор. –446 м, –433 м до гор. –320 м на пересечениях текто-

нических нарушений меридионального, северо-западного и северо-восточного направлений. Толчок зарегистрирован на гор. –433 м в районе планируемой в 2020 г. отработки камеры 1 и 2 блока ОПБ на гор. –433 м, –446 м и –460 м на пересечении с тектонически активным разломом ТН-3.

Заключение

Анализ результатов геомеханического мониторинга и особенностей проявления удароопасности и техногенной сейсмичности на Николаевском месторождении свидетельствует об усложнении горнотехнической ситуации, обусловленной ростом выработанных пространств и глубины разработки.

Интенсивное техногенное воздействие на природно-техническую систему привело к нарушению естественного равновесия и активизации геодинамических процессов, протекающих в форме перестройки и самоорганизации блочного массива горных пород. На Николаевском месторождении эти процессы сопровождаются смещениями и подвижками вдоль тектонических нарушений различного масштабного уровня, выделением значительной упругой энергии.

Наибольшее количество геодинамических событий приурочено к сети разломов, и особенно к зоне активного крутопадающего разлома ТН-3 с сопутствующими системами трещиноватости, крутопадающими дайковыми телами, преимущественно северо-западного направления. Толчки регистрируются как в зоне опорного давления, так и в глубине массива существенно (на 100–150 м и более) ниже участков ведения горных работ.

Установлено заметное влияние сейсмических волн от технологических взрывов и удаленных землетрясений на напряженно-деформированное состояние массива горных пород, которые высту-

пали триггерами для целого ряда разрушительных проявлений техногенной сейсмичности.

Для безопасной отработки запасов нижней части месторождения в условиях проявления техногенной сейсмичности ключевое значение имеет оценка свойств и состояния тектонической структуры, в первую очередь — в райо-

не ТН-3, и их учет для обоснования региональных мер по предупреждению опасных геодинамических явлений. Применение системы комплексного геодинамического мониторинга дает возможность реализовать эффективные технологические решения по управлению горным давлением и снижению геодинамического риска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.

2. Геодинамика, магматизм металлогения Востока России. В 2-х кн. / Под ред. Ханчука А.И. — Владивосток: Дальнаука, 2006. — 572 с.

3. Rasskazov I. Yu., Saksin B. G., Usikov V. I., Petrov V. A., Shevchenko B. F., Gil'manova G. Z. Present day stress strain state in the upper crust of the Amurian lithosphere plate // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2014. Vol. 50. No. 3. Pp. 444–452.

4. Рогоулина Л. И., Свешникова О. Л. Николаевское скарново-полиметаллическое месторождение (Приморье, Россия) // Геология рудных месторождений. — 2008. — № 1. — С. 67–82.

5. Методы и системы сейсмодеформационного мониторинга техногенных землетрясений и горных ударов: в 2-х т. / Под ред. Н.Н. Мельникова. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, Т. 1, 2009; Т. 2, 2010.

6. Геомеханические поля и процессы: экспериментально-аналитические исследования формирования и развития очаговых зон катастрофических событий в горнотехнических и природных системах / Под ред. Н.Н. Мельникова. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, Т. 1, 2018, Т. 2, 2019.

7. Рассказов И. Ю., Петров В. А., Гладырь А. В., Тюрин Д. В. Геодинамический полигон Стрельцовского рудного поля: практика и перспективы // Горный журнал. — 2018. — № 7. — С. 17–21.

8. Marcak H., Mutke G. Seismic activation of tectonic stresses by mining // Journal of Seismology. 2013. Vol. 17. No 4. Pp. 1139–1148.

9. Meifeng C. Prediction and prevention of rockburst in metal mines. A case study of San-shandao gold mine // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2016. Vol. 8. No 2. Pp. 204–211.

10. Manchao H., Fuqiang R., Dongqiao L. Rockburst mechanism research and its control // International Journal of Mining Science and Technology. 2018. Vol. 28. No 5. Pp. 829–837.

11. Azhari A., Ozbay U. Evaluating the effect of earthquakes on open pit mine slopes / 50th U.S. Rock Mechanics. Geomechanics Symposium, 26–29 June, 2016, Houston, Texas. 2016. Pp. 315–324.

12. Williams-Stroud S. C. Earth stress and seismic hazard from the size-frequency distribution of seismic events / 51st U.S. Rock Mechanics. Geomechanics Symposium. 25–28 June, 2017. California, San-Francisco. 2017. Pp. 544–550.

13. Адушкин В. В., Турунтаев С. В. Техногенная сейсмичность — индуцированная и триггерная. — М.: ИДГ РАН, 2015. — 364 с.

14. Леви К. Г., Мирошниченко А. И., Ружич В. В. Саньков В. А., Алакшин А. М., Кириллов П. Г., Колман С., Лухнев А. В. Современное разломообразование и сейсмич-

ность в Байкальском рифте // Физическая мезомеханика. — 1999. — № 2 (1–2). — С. 171–180.

15. Каспарьян Э. В., Федотова Ю. В., Кузнецов Н. Н. Исследование влияния активных разломов на напряженное состояние скальных массивов // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. — 2017. — № 14. — С. 108–111.

16. Сидоров Д. В., Потапчук М. И., Сидляр А. А. Прогнозирование удароопасности тектонически нарушенного рудного массива на глубоких горизонтах Николаевского полиметаллического месторождения // Записки горного института. — 2018. — Т. 234. — С. 604–611.

17. Потапчук М. И., Рассказов И. Ю., Потапчук Г. М., Сидляр А. В., Рассказов М. И. Прогнозная оценка геодинамической опасности при отработке глубоких горизонтов Николаевского месторождения / Проблемы комплексного освоения георесурсов. Материалы IV Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых. Т. 1. — Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2011. — С. 110–118.

18. Рассказов И. Ю. Совершенствование технических средств локального контроля удароопасности при ведении горных работ в сложных горно-геологических условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № S4-2. — С. 22–30. **ПЛАБ**

REFERENCES

1. Rasskazov I. Yu., Saksin B. G., Usikov V. I., Potapchuk M. I. Geodynamic state of the rock mass of the Nikolaevskoe polymetallic deposit and features of impact hazard during its development. *Gornyi Zhurnal*. 2016, no 12, pp. 13–19. [In Russ].

2. *Geodinamika, magmatizm metallogeniya Vostoka Rossii*. Pod red. Khanchuka A. I. [Geodynamics, magmatism and metallogeny of East of Russia. A. I. Khanchuka (Ed.)], In 2 books. Vladivostok, Dalnauka, 2006. 572 p.

3. Rasskazov I. Yu., Saksin B. G., Usikov V. I., Petrov V. A., Shevchenko B. F., Gil'manova G. Z. Present day stress strain state in the upper crust of the Amurian lithosphere plate. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2014. Vol. 50. No. 3. Pp. 444–452.

4. Rogulina L. I., Sveshnikova O. L. HNikolayevsky skarnovo-polymetallic Deposit (Primorye, Russia). *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*. 2008, no 1, pp. 67–82. [In Russ].

5. *Metody i sistemy seysmodeformatsionnogo monitoringa tekhnogennykh zemletryaseniy i gornyykh udarov*. Pod red. N. N. Mel'nikova [Methods and systems of seismic and deformation monitoring of man-made earthquakes and rockbursts. N. N. Mel'nikov (Ed.)], Novosibirsk, Izd-vo SO RAN, Vol. 1, 2009; Vol. 2, 2010.

6. *Geomekhanicheskie polya i protsessy: eksperimental'no-analiticheskie issledovaniya formirovaniya i razvitiya ochagovykh zon katastroficheskikh sobytii v gornotekhnicheskikh i prirodnykh sistemakh*. Pod red. N. N. Mel'nikova [Geomechanical fields and processes: experimental and analytical investigations of the formation and development of focal zones of catastrophic events in mining and natural systems. N. N. Mel'nikov (Ed.)], Novosibirsk, Izd-vo SO RAN, Vol. 1, 2018, Vol. 2, 2019.

7. Rasskazov I. Yu., Petrov V. A., Gladyr A. V., Tyurin D. V. Geodynamic polygon of the Streltsovsky ore field: practice and prospects. *Gornyi Zhurnal*. 2018, no 7, pp. 17–21. [In Russ].

8. Marcak H., Mutke G. Seismic activation of tectonic stresses by mining. *Journal of Seismology*. 2013. Vol. 17. No 4. Pp. 1139–1148.

9. Meifeng C. Prediction and prevention of rockburst in metal mines. A case study of San-shandao gold mine. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2016. Vol. 8. No 2. Pp. 204–211.

10. Manchao H., Fuqiang R., Dongqiao L. Rockburst mechanism research and its control. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018. Vol. 28. No 5. Pp. 829–837.

11. Azhari A., Ozbay U. Evaluating the effect of earthquakes on open pit mine slopes. *50th U.S. Rock Mechanics. Geomechanics Symposium*, 26–29 June, 2016, Houston, Texas. 2016. Pp. 315–324.

12. Williams-Stroud S.C. Earth stress and seismic hazard from the size-frequency distribution of seismic events. *51st U.S. Rock Mechanics. Geomechanics Symposium*. 25–28 June, 2017. California, San-Francisco. 2017. Pp. 544–550.

13. Adushkin V.V., Turuntaev S.V. *Tekhnogennaya seysmichnost' – indutsirovannaya i trigernaya* [Technogenic seismicity – induced and triggered], Moscow, IDG RAN, 2015. 364 p.

14. Levi K.G., Miroshnichenko A.I., Ruzhich V.V. San'kov V.A., Alakshin A.M., Kirillov P.G., Kolman S., Lukhnev A.V. Modern faulting and seismicity in the Baikal rift. *Physical mesomechanics*. 1999, no 2 (1–2), pp. 171–180. [In Russ].

15. Kasparyan E.V., Fedotova Iu.V., Kuznetsov N.N. Investigation of the influence of active faults on the stress state of rock massifs. *Trudy Fersmanovskoy nauchnoy sessii GI KNTS RAN*. 2017, no 14, pp. 108–111. [In Russ].

16. Sidorov D.V., Potapchuk M.I., Sidlyar A.V. Predicting the impact hazard of a tectonically disturbed ore mass on the deep horizons of the Nikolaevskogo polymetallic deposit. *Journal of Mining Institute*. 2018. Vol. 234, pp. 604–611. [In Russ].

17. Potapchuk M.I., Rasskazov I.Yu., Potapchuk G.M., Sidlyar A.V., Rasskazov M.I. Predictive assessment of geodynamic hazard in the development of deep horizons. Problemy kompleksnogo osvoeniya georesursov. *Materialy IV Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s uchastiem inostrannykh uchenykh*. Т 1. [The problems of integrated development of geo-resources. Proceedings of the IV all-Russian scientific conference with the participation of foreign scientists. Vol. 1], Khabarovsk, IGD DVO RAN, 2011, pp. 110–118. [In Russ].

18. Rasskazov I.Yu. Improvement of technical means of local impact hazard control when conducting mining operations in difficult mining and geological conditions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014, no S4-2, pp. 22–30. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Рассказов Игорь Юрьевич*¹ – член-корр. РАН, д-р техн. наук,

научный руководитель, e-mail: rasskazov@igd.khv.ru,

*Федотова Юлия Викторовна*¹ – канд. техн. наук,

старший научный сотрудник, e-mail: fjulia@mail.ru,

*Сидляр Александр Владимирович*¹ – научный сотрудник,

*Потапчук Марина Игоревна*¹ – канд. техн. наук,

старший научный сотрудник,

¹ Институт горного дела ДВО РАН – обособленное подразделение

Хабаровского Федерального исследовательского центра ДВО РАН.

Для контактов: Рассказов И.Ю., e-mail: rasskazov@igd.khv.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*I.Yu. Rasskazov*¹, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences,

Dr. Sci. (Eng.), Scientific Supervisor, e-mail: rasskazov@igd.khv.ru,

*Yu.V. Fedotova*¹, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher,

e-mail: fjulia@mail.ru,

*A.V. Sydlyar*¹, Researcher,

*M.I. Potapchuk*¹, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher,

¹ Mining Institute of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences –

Separate Division of Federal Khabarovsk Research Center, Far Eastern Branch

of Russian Academy of Sciences, 680000, Khabarovsk, Russia.

Corresponding author: I.Yu. Rasskazov, e-mail: rasskazov@igd.khv.ru.

Получена редакцией 18.06.2020; получена после рецензии 21.08.2020; принята к печати 10.10.2020.

Received by the editors 18.06.2020; received after the review 21.08.2020; accepted for printing 10.10.2020.