

УДК 550.34.06

В. П. МАРЫСЮК, О. В. СИТНИКОВА, М. В. ТЕРЕЩЕНКО (ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»)
С. В. ЦИРЕЛЬ (ОАО «ВНИМИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ НА ГЛУБОКИХ РУДНИКАХ ТАЛНАХА*



В. П. МАРЫСЮК,
главный инженер
Центра геодинамической
безопасности,
канд. техн. наук



О. В. СИТНИКОВА,
ведущий инженер
Центра геодинамической
безопасности



М. В. ТЕРЕЩЕНКО,
инженер II категории
Центра геодинамической
безопасности



С. В. ЦИРЕЛЬ,
главный научный сотрудник,
д-р техн. наук

Точная локализация сейсмических событий является одной из важнейших задач сейсмического мониторинга на рудниках [1], так как позволяет, во-первых, связывать проявления геодинамической активности с различными геологическими структурами, в первую очередь — с тектоническими разрывами; во-вторых, устанавливать близость гипоцентров сейсмических событий к горным выработкам (рис. 1). Из показанных на рисунке четырех различных горнотехнических ситуаций наиболее опасной является ситуация 2, когда зоны проявлений региональной и локальной удароопасности смыкаются между собой и возникает непосредственная угроза горного удара. В ситуации 1 фиксируется удароопасность, однако не ясна степень ее проявления — микроудар или «полноценный» горный удар. В ситуации 3 зона опасности еще не подошла к выработке, или разгрузка породного массива непосредственно в боку выработки маскирует приближение опасности. Ситуация 4 является в ближайшей перспективе наиболее безопасной и требует выполнения только региональных противоударных мероприятий. Вместе с тем, поскольку точность лока-

Констатируя актуальность повышения точности локализации и прогнозирования сейсмических событий при подземной разработке удароопасных месторождений Талнаха, авторы представляют анализ существующих методов решения этой проблемы, проведенные ими исследования и разработанный на основе данных сейсмического мониторинга алгоритм расчета локализации (координат) сейсмических событий с одновременным определением скоростей, положений гипоцентров и времени инициирования группы близких в пространстве и во времени сейсмических событий.

Разработанный авторами алгоритм апробирован на руднике «Октябрьский» с проведением тарировочных взрывов в зоне ведения горных работ, а групповая локализация сейсмических событий рекомендована как способ более точного определения их координат и положений относительно выработок и разломов.

Ключевые слова: сейсмический мониторинг, удароопасность, горнотехнические и геологические ситуации, точность локализации сейсмических событий, прогнозирование, сейсмостанции, датчики, алгоритмы расчетов, методика групповой локализации.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.06.08>

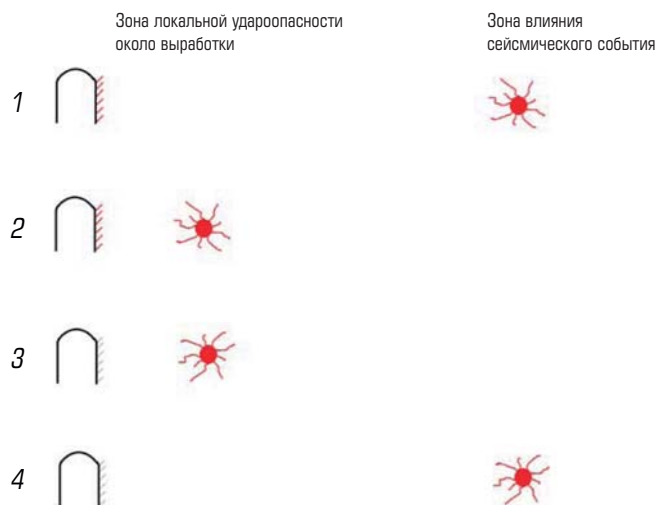


Рис. 1. Горнотехнические ситуации (1–4) с различным соотношением удароопасности по локальным и региональным оценкам

* В работе принимали участие Ю. Г. Кобылянский и заведующий лабораторией геофизических исследований ОАО «ВНИМИ» С. Н. Мулёв.

лизации гипоцентров сейсмособытий составляет десятки метров, то ситуацию 2 практически невозможно отличить от ситуации 1, а ситуацию 3 — от ситуации 4, что влечет за собой вероятность как переоценки, так и недооценки опасности, вплоть до пропуска назревающего горного удара. Повышение точности локализации динамических событий вблизи выработок может осуществляться, во-первых, путем организации дополнительных видов мониторинга — промежуточных между локальными и региональными, например, сейсмоакустические наблюдения за динамическими событиями на частотах, составляющих первые тысячи Герц и выше. При этом в связи с быстрым затуханием высокочастотных волн сейсмоакустические датчики должны располагаться в массиве с большей плотностью, чем сейсмические акселерометры и велосиметры. Во-вторых, более простым и менее затратным способом локализации сейсмособытий при стандартном сейсмическом мониторинге, включающем множество различных мероприятий:

- повышение густоты расположения сейсмодатчиков с их размещением вокруг зоны мониторинга;
- повышение качества регистрации сигналов, в том числе использование трехкомпонентных датчиков с повышенной чувствительностью; предусиление сигналов; расширение частотного диапазона (в первую очередь — в сторону высоких частот); повышение частоты дискретизации; расширение динамического диапазона приема сигналов;
- детальные исследования структуры массива в области мониторинга, в первую очередь — построение скоростных разрезов;
- использование более точных и надежных алгоритмов локализации сейсмособытий.

В настоящее время наблюдается тенденция расширения частотного диапазона шахтных сейсмостанций и повышения частоты дискретизации записей. Наилучшими характеристиками обладают сейсмостанции ISS (ЮАР–Австралия [1, 2]) и российская — GITS [3]. Однако дальнейшее повышение чувствительности систем регистрации, кроме очевидных положительных эффектов, увеличивает засоренность записей сейсмособытия случайными выбросами природного и, особенно, техногенного происхождения. Что касается использования скоростных разрезов, то здесь следует отметить существенную значимость пути волн от гипоцентра к датчику не только от исходного скоростного разреза, но и от меняющейся по ходу ведения горных работ геометрии массива. Особенно сложными пути прохождения волн могут быть в наиболее важных для поставленных задач зонах активного ведения горных работ, изрезанных подготовительными и очистными выработками.

Эти ограничения усиливают значимость выбора оптимальных алгоритмов расчета времени и места сейсмособытия. При этом наиболее эффективными в подземных рудниках являются алгоритмы, основанные на первых вступлениях продольных волн, что связано со сложными и разнообразными механизмами самих геодинамических событий («проскальзывание» по существующей трещине, раскрытие и образование новых трещин и т. д.), малыми расстояниями от источника, неполным разделением продольных и поперечных волн, сложными отражениями и наличием аль-

тернативных путей распространения в изрезанном выработками массиве. Существующие алгоритмы локализации сейсмособытий можно разделить на три группы.

«Точные» алгоритмы, основанные на приближенном решении нелинейной системы уравнений:

$$\sum_{i=1}^3 (x_{ji} - x_{0i})^2 = (v_{0j} (t_0 - t_j))^2; \quad (1)$$

$$v_{0j} = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (x_{ji} - x_{0i})^2 / \sum l_{0jk} / v_k},$$

где $i = 1, 2, 3$ — координаты; j — номер датчика; x_{ji} — i -я координата j -го датчика; t_0 — время наступления сейсмособытия; t_j — время прихода волны к j -му датчику; v_{0j} — средняя скорость волны между гипоцентром и j -м датчиком; l_{0jk} — длина пути волны между гипоцентром и j -м датчиком в k -м слое; v_k — скорость продольной волны в k -м слое.

Решение системы (1) является наиболее точным подходом к определению положения гипоцентра и времени наступления сейсмособытия, однако фактически метод оказывается весьма неустойчивым, чувствительным к малым ошибкам определения измеряемых величин (t_j , v_k). Дополнительную неустойчивость вносят вариации скоростей v_k во времени из-за изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) массива, а также фактических путей распространения волн из-за сложной и изменяющейся геометрии массива, изрезанного горными выработками. Поэтому применение метода рекомендуется для хорошо исследованных участков массивов при малых вариациях скоростей волн и частой корректировке скоростных разрезов.

Вторую группу составляют более устойчивые, но и более грубые методы приближенного определения времени и места сейсмособытия. Особое место среди них занимает алгоритм SPAM, используемый при сейсмическом мониторинге на рудниках «Октябрьский» и «Таймырский» [4]. Суть алгоритма заключается в том, что за нулевое приближение принимают координаты ближайшего к гипоцентру сейсмодатчика — X_6, Y_6, Z_6 . В качестве первой серии приближений выбирают шесть пробных точек с координатами: $X_6 - \delta, Y_6, Z_6; X_6 + \delta, Y_6, Z_6; X_6, Y_6 - \delta, Z_6; X_6, Y_6 + \delta, Z_6; X_6, Y_6, Z_6 - \delta; X_6, Y_6, Z_6 + \delta$. При этом величину δ определяют, исходя из достижимой точности вычисления координат сейсмособытия при неучете различия скоростей волн по разным путям (рис. 2).

В каждой опытной точке по специальным формулам вычисляют суммарное среднеквадратическое отклонение Q_i времени задержки прихода волн между ближайшим и другими датчиками от рассчитанных для локализации источника колебаний. Для точки с наименьшей величиной Q строится следующая аналогичная серия опытных точек. Если на текущем шаге была получена новая точка с наименьшей величиной Q , то шаг δ остается неизменным; если такой точкой остается предыдущая, то шаг приближения уменьшается вдвое. Вычисления останавливаются, когда шаг приближения δ становится меньше заданной погрешности приближения. Анализ применения данного алгоритма на рудниках «Октябрьский» и «Таймырский» показал, что при больших расхож-

дениях между показаниями датчиков расчетное положение гипоцентра сейсмобития «притягивается» к рудной залежи, и особенно к месту нахождения датчика, первым зафиксировавшего приход волны. Это исключает нередкие при использовании более точных алгоритмов ошибки в сотни метров, но приводит к низкой точности вычисления координаты Z . В связи с этим широкое использование алгоритма на рудниках «Октябрьский» и «Таймырский» рекомендуется в следующих случаях:

- когда точность определения координаты Z менее существенна, чем горизонтальных координат;
- для участков с невысокой сейсмоактивностью;
- при невозможности или сложности экспериментального уточнения скоростных разрезов;
- в период освоения более сложных и точных алгоритмов.

Третий, редко применяемый, но, по мнению авторов, наиболее перспективный алгоритм (метод) основан на определении скоростей, положений гипоцентров и моментов инициирования одновременно для целой группы близких в пространстве и во времени сейсмических событий [5–8]. В качестве примера ниже показана методика сейсмического мониторинга на золотом руднике «Эландсренд» в Южной Африке [6]. По результатам исследований выделено девять групп явлений размером приблизительно $300 \times 200 \times 400$ м, по которым были рассчитаны местоположения сейсмобитий и скорости распространения волн. В качестве начальных значений при вычислениях скоростей продольных волн использовали упрощенную геологическую модель рудника. Расчетные скорости волн во всех случаях отличались не более чем на 5 % от выведенных из геологической модели.

Малая распространенность данного метода связана, по-видимому, со сложными для того времени вычислительными проблемами — необходимостью обращения матриц высокой размерности и ручного вмешательства в ход процесса, связанных с изменениями фактических и наблюдаемых скоростей распространения волн. С течением времени даже при отсутствии явных ошибок и кратковременных изменений скоростей в ходе применения метода достаточно точно оценивают положения сейсмобитий друг относительно друга, но значительно ухудшается привязка пятен сейсмической активности к плану горных работ. Наличие существенного количества дефектных записей и/или изменений механизмов происходящих сейсмических событий не позволяет вести длительные перевычисления изменившихся скоростей волн лишь на основании расчетных методов.

В связи с этим предложенная авторами в работе [8] методика включает, кроме начального этапа, состоящего в выделении участков массива (тектонических блоков) с приблизительно одинаковыми скоростями прохождения волн, две чередующиеся операции — вычисление координат групповым методом и периодическую натурную тарировку используемых начальных значений скоростей. Для этого в местах ведения горных работ, в первую очередь в зонах максимальной геодинамической активности массива, периодически проводят тарировочные взрывы с точно известными координатами и моментами взрывания, что позволяет определить скорости распространения волн до сейсмоприемни-

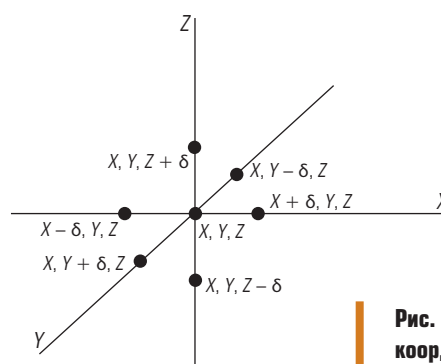


Рис. 2. Схема к определению координат гипоцентров сейсмических событий с помощью алгоритма SPAM

ков. В малотрещиноватых породах используют обычные промышленные взрывы, а в нарушенных — специальные заглубленные камуфлетные взрывы для обеспечения условий формирования волны с четко выраженным моментом вступления.

Тарировочные взрывы позволяют получить средние скорости волны v_{0j} между зоной расположения гипоцентров сейсмобитий и j -м датчиком, минус скорости волн v_k в отдельных породных слоях на путях их распространения. При этом полученные скорости характеризуют наиболее короткие пути с учетом сложной геометрии массива, поэтому для зоны ведения горных работ точнее говорить о «кажущихся» скоростях распространения волн.

Апробирование методики на руднике «Октябрьский» показало, что в среднем скорость распространения сейсмических волн составляла примерно 5650–5700 м/с. При этом скорости волн в зоне расположения наиболее сейсмоактивного участка массива в различных направлениях колебались в диапазоне 5200–5900 м/с, что указывает на наличие как нагруженных участков с повышенными скоростями, так и разгруженных с высокой естественной и наведенной трещиноватостью и пониженными скоростями. Снижение кажущихся скоростей в зоне ведения горных работ могло быть вызвано также удлинением фактических путей волн. Весьма вероятно, что фактическое повышение скоростей, связанное с пригрузкой участков массива, превышает расчетные величины: на это указывают другие эксперименты с независимым измерением скоростей волн [9].

Сопоставление фактических и расчетных координат точек инициирования зарядов ВВ при тарировочных взрывах в центре зоны ведения горных работ показало, что алгоритм SPAM достаточно точно определяет положение гипоцентров в плане: средняя погрешность составляла всего 10–15 м против допустимых 25–30 м при неточной оценке средней скорости (в расчетах ее принимали 6000 м/с). По-видимому, одной из причин столь высокой точности является большой опыт техников ЦГБ. Вместе с тем определение координаты Z характеризуется большей погрешностью: среднеквадратическая погрешность составляла 25–35 м, максимальные ошибки достигали 80–100 м, что связано в первую очередь с концентрацией сейсмодатчиков в рудном теле и в непосредственной близости от него. Поэтому надежная привязка сейсмических событий к определенным геологическим структурам в выше- и ниже-

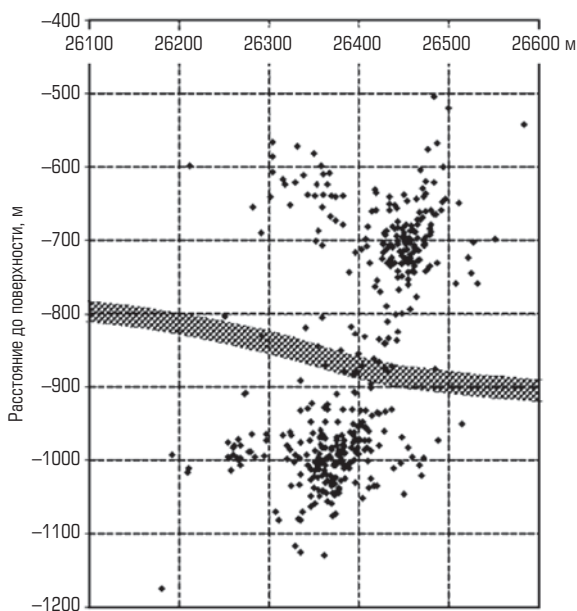


Рис. 3. Гипоцентры сейсмических событий (широтный вертикальный разрез) с основным направлением их концентрации в районе внутреннего разлома III. Штриховкой показано положение залежи богатых руд, включая заложенные участки

лежащих породах возможна только с помощью групповой обработки сейсмических событий (рис. 3), которая показала, что сейсмические явления группируются возле крутопадающего разлома. Сопоставление со схемой тектонического строения массива показывает существенно более сложную картину, чем предполагалось ранее. Основной вклад в сейсмическую активность вносят не основные разломы (горный сброс и параллельный ему разлом, проходящий через разделительный массив РМ-1), а внутренний разлом III (рис. 4) ограниченного ими блока (по-видимому, из-за различий скорости оседания блок разделен на две части).

Важно отметить, что при промышленном применении методики [9] корректировка скоростей распространения волн не должна ограничиваться только моментами производства тарировочных взрывов. В интервалах между ними с частотой от 3–4 недель до 3–4 месяцев (в зависимости от сейсмоактивности данного блока) предложено проводить пересчет скоростей по формулам [9], где в качестве базового варианта принимаются текущие значения скоростей. При этом изменение скоростей отражает в первую очередь изменения НДС на путях распространения волн. Поэтому групповая локализация техногенных сейсмических событий выступает не только как способ более точного определения координат сейсмособытий и их положений относительно выработок и разломов, но и как способ оценки изменения НДС различных участков массива на плане горных работ.

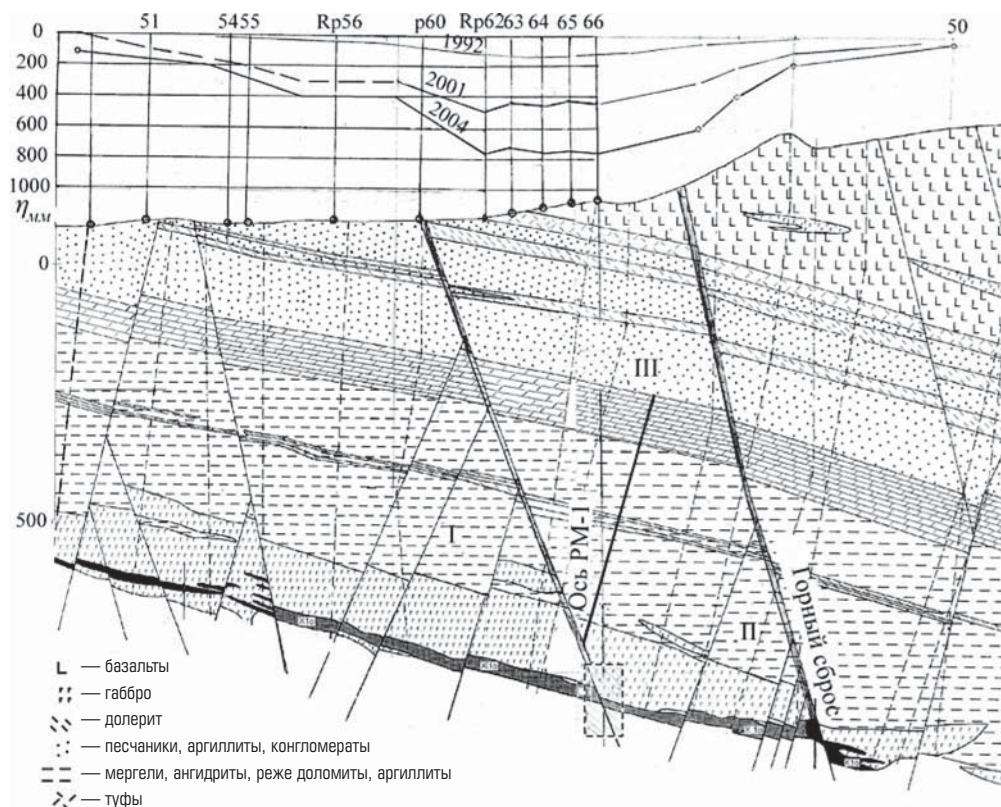



Рис. 4. Тектоническая схема (широтный разрез по панели б) и графики оседаний в районе рудника «Октябрьский»: I — поле шахты 1; II — поле шахты 2; III — внутренний разлом, с которым связана большая часть сейсмических событий

Библиографический список

1. *Mendecki A. J.* Seismic Monitoring in Mines. — London : Chapman and Hall, 1997.
2. ISS Hardware Training Course, 2012. URL: <http://www.issi.co.za/training/hardware.html> (дата обращения 28.05.2015).
3. *Яковлев Д. В., Мулёв С. Н., Яковлев В. А.* и др. Система сейсмического мониторинга GITS // Сб. науч. тр. ВНИМИ / отв. ред. Д. В. Яковлев. — СПб. : ВНИМИ, 2012.
4. Указания по безопасному ведению горных работ на Талнахском и Октябрьском месторождениях, склонных к горным ударам. — Норильск, 2007.
5. *Cichowicz A., Spottiswoode S. M., Linzer L. M.* et al. Improved seismic locations and location techniques. — Pretoria : University of Pretoria, 2005.
6. *Essrich F.* Review of Seismicity in Sequential Grid Mining on Elandsrand. Internal Report, Reference No. 012/98, Elandsrand Mine, AngloGold West Wits Operations, 3 February 1998.
7. *Spottiswoode S. M., Milev A.* The use of waveform similarity to define planes of mining-induced seismic events // *Tectonophysics*. 1998. Vol. 289.
8. *Цирель С. В., Таратинский Г. М., Мулёв С. Н.* Методика групповой локализации техногенных сейсмических событий при ведении горных работ в глубоких рудниках // ФТПРПИ. 2011. № 3. С. 36–46.
9. *Цирель С. В., Мулёв С. Н., Петрушина В. Ф.* Вариации и анизотропия скоростей распространения сейсмических волн в напряженных массивах на глубоких рудниках. Горная геомеханика и маркшейдерское дело. — СПб. : ВНИМИ, 2009. 

Марысюк Валерий Петрович,
 тел.: +7 (3919) 49-15-34
Ситникова Оксана Валерьевна,
 тел.: +7 (3919) 24-82-42
Терещенко Марина Викторовна,
 тел.: +7 (3919) 24-79-39
Цирель Сергей Вадимович,
 тел.: +7 (812) 321-81-43

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2015, № 6, pp. 41–46

Title	Improving accuracy of induced seismicity location in deep mines at Talnakh
DOI	http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.06.08
Author 1	Name & Surname: Marysyuk V. P.
	Company: Polar Division of PJSC “MMC “NORILSK NICKEL” (Norilsk, Russia)
	Work Position: Principal Engineer, Center for Geodynamic Safety
	Scientific Degree: Candidate of Engineering Sciences
Contacts: phone: +7(3919) 49-15-34	
Author 2	Name & Surname: Sitnikova O. V.
	Company: Polar Division of PJSC “MMC “NORILSK NICKEL” (Norilsk, Russia)
	Work Position: Chief Engineer, Center for Geodynamic Safety
Author 3	Name & Surname: Tereshchenko M. V.
	Company: Polar Division of PJSC “MMC “NORILSK NICKEL” (Norilsk, Russia)
	Work Position: Category II Engineer, Center for Geodynamic Safety
Author 4	Name & Surname: Tsirel S. V.
	Company: VNIMI (Sainte-Petersburg, Russia)
	Work Position: Principal Researcher
	Scientific Degree: Doctor of Engineering Sciences
Abstract	The authors appreciate contribution of Kobylanskiy Yu. G. and Mulev S. N., Head of Geophysical Research Laboratory, VNIMI. Having stated the highest priority of the increased accuracy location and forecasting of seismic events in rockburst-hazardous underground mining at Talnakh, the authors give a review of the existing approaches to handling the indicated problem, the implemented research and the algorithm developed based on the seismic monitoring results for location (coordinates) of seismic events and determination of their velocities, positions of hypocenters and initiation time of space- and time-close seismic events.
	The research involved various mine-technical situations and geological structures governing the hazard range of a seismic event, and the prime measures aimed at increase in accuracy of location of seismic events, including the measures under implementation in operating mines of Norilsk Nickel. The authors describe some of the high-performance modern seismic stations and the applicable algorithms (computational methods) of location of seismic events, in particular, SPAM algorithm in seismic monitoring service in Oktyabrsky and Taimyrsky Mines. The authors' algorithm has been trialed in Oktyabrsky Mine, under calibration blasting in the stopping zone, and the group location of seismic events is recommended as the best possible positioning of seismic events relative to mine workings and faulting.
Keywords	Seismic monitoring, rockburst hazard, mine-technical and geological situations, seismic event location accuracy, forecasting, seismic stations, sensors, algorithms, group location procedure.

References

1. Mendecki A. J. Seismic Monitoring in Mines. London : Chapman and Hall, 1997.
2. ISS Hardware Training Course, 2012. Available at: <http://www.issi.co.za/training/hardware.html> (accessed: May 28, 2015).
3. Yakovlev D. V., Mulev S. N., Yakovlev V. A. et al. Sistema seismicheskogo monitoringa GITS (System of seismic monitoring GITS). Sbornik nauchnykh trudov Nauchno-issledovatel'skogo instituta gornoy geomekhaniki i marksheyderskogo dela (Collection of scientific proceedings of Scientific-Research institute of mining geomechanics and mine surveying). Responsible editor: D. V. Yakovlev. Saint Petersburg : Scientific-Research institute of mining geomechanics and mine surveying (VNIMI), 2012.
4. Ukazaniya po bezopasnomu vedeniyu gornyykh rabot na Talnakhskom i Oktyabrskom mestorozhdeniyakh, sklonnykh k gornym udaram (Guidelines on safe mining at Talnakh and Oktyabrskoe deposits, liable to rock bumps). Norilsk, 2007. (in Russian)
5. Cichowicz A., Spottiswoode S. M., Linzer L. M. et al. Improved seismic locations and location techniques. Pretoria : University of Pretoria, 2005.
6. Essrich F. Review of Seismicity in Sequential Grid Mining on Elandsrand. Internal Report, Reference No. 012/98, Elandsrand Mine, AngloGold West Wits Operations, 3 February 1998.
7. Spottiswoode S. M., Milev A. The use of waveform similarity to define planes of mining-induced seismic events. Tectonophysics. 1998. Vol. 289.
8. Tsirel S. V., Taratinskiy G. M., Mulev S. N. Metodika gruppovoy lokalizatsii tekhnogennykh seismicheskikh sobyitii pri vedenii gornyykh rabot v glubokikh rudnikakh (Cluster location procedure for technogeneus seismic events in deep mines). Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science. 2011. No. 3. pp. 36–46.
9. Tsirel S. V., Mulev S. N., Petrushina V. F. Variatsii i anizotropiya skorostey rasprostraneniya seismicheskikh voln v napryazhennykh massivakh na glubokikh rudnikakh (Variations and anisotropy of spreading rates of seismic waves in stressed massifs on deep mines). Gornaya geomekhanika i marksheyderskoe delo (Mining geomechanics and mine surveying). Saint Petersburg : Scientific-Research institute of mining geomechanics and mine surveying (VNIMI), 2009.

УДК 622.831.012.2

А. Г. АНОХИН, А. А. БАЗИН (ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»)
А. А. АНДРЕЕВ, С. Д. КРУЗИН (ОАО «ВНИМИ»)

ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ РАЗРЕЗКИ РУДНОЙ ЗАЛЕЖИ X-1(0) НА ВОСТОЧНОМ ФЛАНГЕ ШАХТЫ 2 РУДНИКА «ТАЙМЫРСКИЙ»*



А. Г. АНОХИН,
директор
Центра геодинамической
безопасности,
канд. техн. наук



А. А. БАЗИН,
ведущий специалист
Центра геодинамической
безопасности



А. А. АНДРЕЕВ,
зав. Норильским сектором
лаборатории рудных
и нерудных месторождений



С. Д. КРУЗИН,
ведущий специалист
лаборатории геомеханики
рудных и нерудных
месторождений

Рудник «Таймырский» разрабатывает центральную часть Октябрьского месторождения медно-никелевых руд. В поле рудника расположены промышленные запасы богатых руд, сосредоточенные в пределах залежей X-1(0), C-2, C-3 и C-4 (рис. 1).

В целях восполнения выбывающих запасов и объемов добычи богатых медно-никелевых руд проведены и представлены в настоящей статье исследования возможности создания дополнительного фронта очистных работ на участке залежи X-1 (0) рудника «Таймырский» с последующей добычей руды двумя «догоняющими» фронтами (в отличие от традиционной схемы очистной выемки расходящимися фронтами).

По результатам исследований предложены и учтены в проекте института «Гипроникель» рекомендации по обеспечению непрерывного деформационного мониторинга геомеханической ситуации и комплекса профилактических противоударных мероприятий.

Ключевые слова: удароопасные месторождения, шахтное поле, фронт очистных работ, разделительный целик, критерий запределного деформирования, прогнозные карты, мониторинг, противоударные мероприятия.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.06.09>

Рудопородный массив представляет собой сложную блочную структуру, образованную сетью крупных и мелких тектонических нарушений разрывного характера. Западный и восточный фланги шахты 1, западный фланг шахты 2 примыкают к крупным геологическим нарушениям I порядка (Горный Сброс и Большой Горст) с интенсивно развитой сетью опережающих мелких тектонических нарушений. В этих условиях геомеханическая обстановка в рудной залежи на флангах шахт определяется в основном характером и параметрами сдвига налегающего над рудным телом массива пород, подработанного горными работами — как соб-

* В работе принимал участие главный научный сотрудник Центра геомеханики и проблем горного производства НМСУ «Горный» В. В. Зубков.