

introduced new installations into operation in different years. The modification and upgrading involved also technology and equipment. In the period from 2005 to 2007, modernization of the skip hoist in Komsomolskaya mine doubled the mine production output. Equipment has been totally replaced by the modern machinery from the world's best producers such as Siemens, Mining Technology SIM AG. For instance, hoisting machines SIM AG operate in the deepest mines and are reckoned the most reliable in the world. The Company's proud is Skalistaya mine. This is a unique mine from the view point of technologies of construction and mining. The highest value rich ore occurs here at a depth of 2 km; so the Skalistaya mine shafts are the deepest not only in Russia but in the entire Eurasia. Drivage is executed by one of the world's top mine constructors — Thyssen Schachtbau from Germany, a good partner to the Company. The backbone of the Company's success is not only the tonnage of ore production and kilometrage of stoping but the staff is the all wealth of the Company. Today the Company's team totals more than 2500 people at an average age of 36 years. The Company's personnel performance for the last three years is gratifying and gives evidence of conscientious and dedicated work; out of more than 1275 differently awarded employees, 125 hold governmental awards, 284 have awards from state ministries and 866 employees are granted honorary degrees.

**Keywords:** Komsomolsky Mine, Komsomolskaya mine, Skalistaya mine, copper–nickel ore, mining, ventilation, disseminated ore, underground mining, shaft, reliability, safety, prospects, production.

**References**

1. *Proizvodstvo metallov za Polyarnym krugom : tekhnologicheskoe posobie* (Metal production within the Polar circle : technological manual). Under the general editorship of N. G. Kaytmazov. Norilsk : Anteylimited, 2007. 296 p. (in Russian)
2. Kozhiev Kh. Kh., Sabanov N. A. Rudnik «Komsomolskiy»: stanovlenie i razvitie (Komsomolskiy mine: formation and development). *Gornyi Zhurnal = Mining Journal*. 2001. No. 2. pp. 3–6.
3. Nikshin S. G. Rudoupravlenie «Talnakhskoe» (Talnakh mine group). *Gornyi Zhurnal = Mining Journal*.

2010. No. 6. pp. 27–36.
4. Badtiev B. P., Rozenbaum M. A. *Nauchnye osnovy krepleniya gornyykh vyrabotok na bolshikh glubinakh* (Scientific basis of excavation support on big depths). Norilsk : Norilsk Industrial Institute, 2010. 240 p.
5. Kilyachkov A. P. *Tekhnologiya gornogo proizvodstva : uchebnik dlya vuzov* (Mining production technology : tutorial for universities). Third edition, revised and enlarged. Moscow : Nedra, 1985. 400 p.
6. Grishko A. P. *Statsionarnye mashiny: uchebnik dlya vuzov* (Stationary machines: tutorial for universities). Moscow : Publishing House of Moscow State Mining University, 2006. Vol. 1. 477 p.
7. *Podzemnye transportnye mashiny* (Underground transport machines). *Gornyi Mir = Mining world*. 2008. No. 2. pp. 38–40. (in Russian)
8. Zolotarev R. *Samye glubokie v Evrazii* (The deepest in Eurasia). *Zapolyarnyy vestnik = Polar bulletin*. 2012. No. 129. p. 1.
9. *Ukazaniya po bezopasnomu vedeniyu rabot na Talnakhskom i Oktyabrskom mestorozhdeniyakh, sklonnykh i opasnykh po gornym udaram* (Regulations for safe mining operations at Talnakh and Oktyabrskoe deposits, inclined and prone to rock-bumps). Norilsk, Saint Petersburg, 2015. 88 p. (in Russian)
10. Louchnikov V. N., Eremenko V. A., Sandy M. P. Ground support liners for underground mines: energy absorption capacities and costs. *Eurasian Mining*. 2014. No. 1. pp. 54–62.
11. Bloshenko T. Taxation of Mineral Products in Russian Federation. Review of European Studies. Canadian Center of Science and Education. 2014. Vol. 6, No. 4.
12. Shabanimashcool M., Li C. C. Analytical approaches for studying the stability of laminated roof strata. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2015. Vol. 79. pp. 99–108.
13. Capilla A. V., Delgado A. V. *The Destiny of the Earth's Mineral Resources*. London : World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2015.
14. Wasson C. Mining Mountains. Pit & Quarry. March 2015. pp. 56–59.

УДК 622.11

## ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ РУДНОГО МАССИВА ЗАЛЕЖИ С-2 ШАХТЫ «СКАЛИСТАЯ» ДО НАЧАЛА ОЧИСТНЫХ РАБОТ



**Р. Б. ГАЛАОВ,**  
зам. директора  
по управлению минерально-сырьевыми ресурсами,  
andreevaiv@tf.nk.nornik.ru



**А. А. КИСЕЛЬ,**  
начальник отдела  
Центра геодинамической  
безопасности

ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», Норильск, Россия



**А. А. АНДРЕЕВ,**  
зав. Норильским  
сектором



**В. В. ЗУБКОВ,**  
главный научный сотрудник,  
д-р техн. наук

АО «ВНИМИ», Санкт-Петербург, Россия

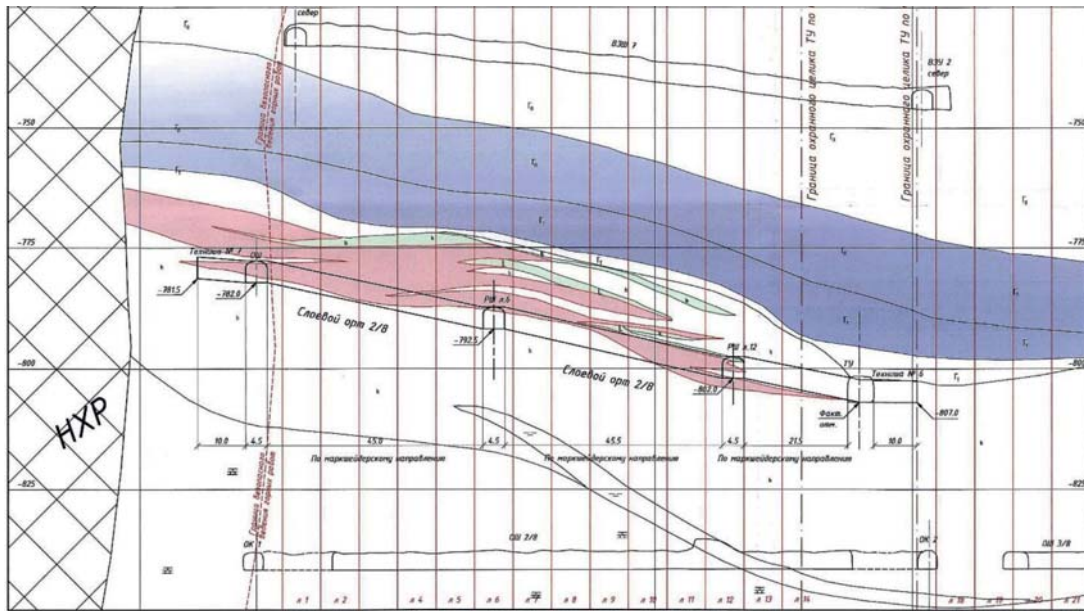
Дана оценка напряженного состояния рудного массива в связи с началом ведения очистных работ в залежи С-2 Талнахского месторождения, обрабатываемого шахтой «Скалистая» рудника «Комсомольский». По результатам бурения керновых скважин установлено наличие преобладающих горизонтальных напряжений, направленных под углом около 62° к оси очистных выработок. Выполнено математическое моделирование для оценки изменения напряженного состояния рудного массива после отработки первичной ленты в панелях 1 и 2. Приведены рекомендации по контролю напряженного состояния при ведении горных работ.

**Ключевые слова:** напряженное состояние, тензор напряжений, керновое бурение, математическое моделирование, категория удароопасности, разрезка залежи, зона повышенного горного давления.

**DOI:** dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.07.02

### Введение

Поле шахты «Скалистая» расположено севернее поля рудника «Комсомольский» на восточном крыле Норильско-Харалахского разлома (НХР) и принадлежит к Талнахскому месторождению сульфидных медно-никелевых руд. Сплошные руды образуют две залежи (1-я и 2-я Северные), приурочены к северо-восточной ветви Талнахской рудоносной интрузии и расположены по ее нижнему контакту. В поле шахты имеются промышленные запасы богатых и медистых руд [1].



**Рис. 1. Разрез по слоевому орту 2/8 залежи С-2**

Залежь С-2, являясь продолжением залежи С-1, вытянута вдоль НХР на расстояние около 1900 м при средней ширине около 400 м. Глубина залегания по почве составляет от 1100 до 1500 м, средняя мощность — около 11 м, с колебанием от первых метров до 40 м.

Залежи С-1 и С-2 разделяет безрудная зона — выступ в ложе интрузии, поднятый на 10–15 м. Размеры этой зоны: с юга на север (по падению) — 50–500 м (в среднем 300 м); с запада на восток (по простиранию) — около 550 м.

Рудная залежь, подлежащая разработке, состоит из сплошных (богатых) и медистых руд (горизонты МП-ОН и МП-ОВ). Для залежи характерны незначительная мощность рудного тела и наличие большого числа ксенолитов роговиков и медистых руд. Разрезы по падению рудного тела представлены на **рис. 1**.

Горно-геомеханическая обстановка в районе залежи С-2 определяется приуроченностью к Норильско-Хараелахскому разлому и субпараллельным ему крупным сбросам, к зонам субмеридиональных сбрососдвигов и взбросов и характеризуется крутыми углами падения этих нарушений.

Концентрация большого числа таких разрывов на весьма ограниченном участке предопределяет существенную нарушенность руд и вмещающих пород, а следовательно, их низкую устойчивость.

**Методика оценки напряженного состояния исходного породного массива**

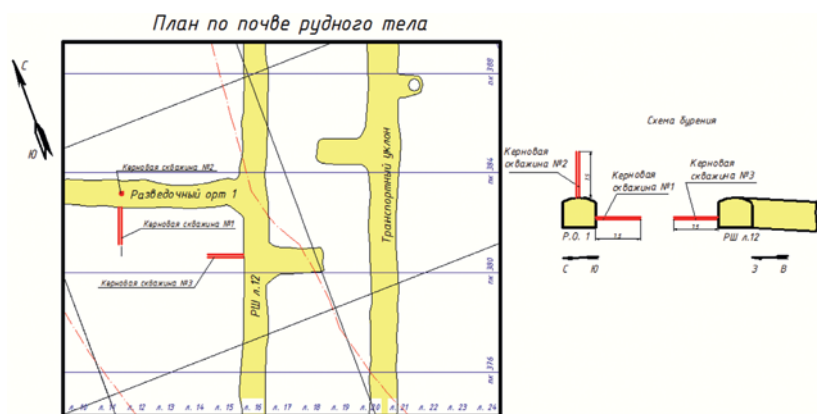
Очистные работы по отработке запасов залежи С-2 начаты в 2012 г. разрезкой по ленте 8 панели 1. В соответствии с техническим проектом, очистные работы ведутся по слоевой и камерной системам разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. Проектная ширина очистных выработок 6 м, длина определяется размерами панели и равна 120 м,

высота выбирается в зависимости от мощности рудного тела и в данном месте составляет не более 25 м.

В соответствии с [2], рудопородный массив Талнахского месторождения с глубины более 700 м относится к опасным по горным ударам, в связи с чем возникает необходимость выполнения комплекса мероприятий по прогнозированию и предотвращению горных ударов [3]. Учитывая незначительную мощность рудного тела в панели 1 (от 5 до 25 м), особенно на восточном фланге, основные запасы в лентах могут извлекаться при проведении заходок и отбойкой руды в кровле или почве выработки. При отработке участков рудного тела малой и средней мощности выемочной мощности недостаточно для построения защитного перекрытия выработками защитного слоя. Поэтому защищенная зона формируется бурением разгрузочных скважин.

Планирование эффе­ктивных противоударных мероприятий должно базироваться на информации о напряженно-деформированном состоянии массива горных пород [4]. В результате визуальных наблюдений за проявлениями горного давления, проводимых при проходке горно-капитальных и подготовительных выработок в пределах залежи С-2, характер распределения напряжений установить не удалось — изменения контура выработок были вызваны влиянием трещиноватости и слоистости руд и пород.

Для определения тензора напряжений в исходном, не подверженном влиянию очистных работ массиве в 2012 г. было выполнено бурение вееров керновых скважин из подготовительных выработок, расположенных в залежи С-2. Расположение скважин представлено на **рис. 2**. Для бурения скважин выбран участок шахтного поля, расположенный в районе предстоящей первоочередной разрезки. Керновые скважины расположены таким образом, чтобы исключить влияние на сопряжения выработок и тектонических нарушений — расстояние от этих объектов до скважин составляет не менее 10 м [5, 6]. Скважина № 1 расположена в



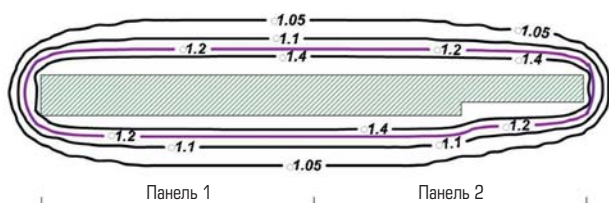
**Рис. 2.** Схема расположения керновых скважин для оценки тензора напряжений залежи С-2

разведочном орте № 1 (РО-1), забурена в южном боку. Скважина № 2 расположена также в РО-1, забурена в кровлю. Скважина № 3 расположена в разведочном штреке ленты 12 (РШЛ-12), забурена в западном боку. Длина всех скважин 7,5 м, диаметр 42 мм.

Интерпретация результатов выполнена по методике, приведенной в [2]. Результаты определения напряжений следующие. Тензор напряжений:  $\sigma_x = 4,5$  МПа;  $\sigma_y = 34,6$  МПа;  $\sigma_z = 18,6$  МПа (ось ОХ — направление СЮ; ось ОУ — направление ЗВ). Вектор максимальных напряжений  $\sigma_{max} = 39,5$  МПа; уклон  $28^\circ$ ; азимут  $+83^\circ$  (СВ); отклонение от оси лент  $+62^\circ$ ; напряжения вдоль лент 16,6 МПа; напряжения поперек лент 30,7 МПа.

Полученные величины напряжений не достигают 0,5 от предела прочности руд и пород на одноосное сжатие и не выражаются в виде внешних признаков удароопасности в одиночных горных выработках.

Данные о характере распределения напряжений в нетронутым массиве были использованы для обеспечения безопасности при осуществлении первичной разрезки залежи. Учитывая преобладающие горизонтальные напряжения, направленные поперек оси очистной выработки, после проходки разрезного штрека АО «ВНИМИ» совместно с Центром геодинамической безопасности рекомендовало выполнять локальный прогноз удароопасности методом дискования керна, путем бурения скважин в кровлю штрека через каждые 20 м отбойки вееров камеры. При выявле-



**Рис. 3.** Прогнозная карта напряженного состояния залежи С-2 после выполнения разрезки по ленте 8 в панелях 1 и 2

нии повышенных напряжений, вызванных увеличением длины и высоты выработанного пространства, предусмотрено бурение разгрузочных скважин с возможностью последующего взрывания в них зарядов ВВ. Оценка напряженности горного массива показала, что напряжения не достигли опасных величин, что не потребовало применения специальных противоударных мероприятий.

По мере развития отработки напряжения перед фронтами очистных работ будут нарастать, а конфигурация выработанного пространства будет трансформировать направление действующих напряжений в зоне влияния очистных работ [7]. В связи с этим на определенной стадии ведения горных работ нарастающие напряжения достигнут уровня, достаточного для проявления в обнажениях горных выработок [8, 9].

Оценку напряженного состояния обрабатываемой рудной залежи по мере развития горных работ проводили с использованием программы SUIT3D [10, 11]. Моделирование было проведено в рамках объемной задачи. Исходная информация для расчетов включает данные о геометрических параметрах горнотехнической обстановки на момент вычислений: глубина залегания, угол падения и мощность залежи, размеры и конфигурация выработанных пространств и целиков в плане, а также физико-механические свойства рудопородного и искусственного массивов: модуль упругости, коэффициент Пуассона, прочность на одноосное сжатие, угол внутреннего трения, коэффициенты бокового отпора.

Граничные условия заданы в напряжениях, возникающих на почве очистной выработки от действия подработанных пород, по специально разработанной и реализованной в программах методике задания граничных условий.

По результатам ранее проведенных исследований [13, 14] установлено, что для основной площади отработки залежей Талнахского и Октябрьского месторождений преобладающими являются субвертикальные напряжения, ориентированные, как правило, по нормали к обрабатываемой залежи. Зоны преобладающих горизонтальных напряжений (ПГД) локализуются вблизи некоторых тектонических разломов и не имеют повсеместного распространения. По результатам расчетов построена прогнозная карта напряженного состояния (рис. 3), на которой представлены напряжения, нормальные к плоскости рудного тела, нормированные на текущее значение исходных напряжений ( $\sigma_y/\gamma H$ ). Соотношение величин напряжений и вертикальных напряжений в нетронутым массиве — коэффициент концентрации напряжений — позволяет учитывать степень влияния горных работ на напряженное состояние рудопородного массива, выделять зоны, подверженные наибольшему и наименьшему влиянию. В результате расчетов установлено, что на начальном этапе отработки залежи С-2, включающей отработку камеры одной ленты и проходку разрезного штрека в смежной ленте, граница зоны ПГД ( $\sigma_y/\gamma H > 1,2$ ) вокруг выработанного пространства распространяется на расстояние до 5 м. При этом величина напряжений достигает  $1,4\gamma H$ , что для данного района составляет около 26–27 МПа [11–13]. С учетом сложно-

го и весьма неоднородного строения залежи (см. рис. 1) рассчитанные напряжения для всех типов пород не являются критическими относительно удароопасности, составляя от 0,19 до 0,33 от предела прочности руд и пород на одноосное сжатие.

### Заключение

Опыт ведения работ на рудниках Талнаха в аналогичных горно-геологических условиях показывает, что на начальной стадии отработки нового выемочного участка проявления горного давления не наблюдаются, как правило, при ширине выработанного пространства до 40 м. При пролете подработки от 40 до 80 м фиксируются единичные случаи разрушения руд и пород, как правило, в наиболее нагруженных элементах — остроугольных сопряжениях, узких целиках. При превышении пролета под-

работки более 80 м формируются сплошные зоны опорного давления впереди фронта отработки. Данная закономерность обусловлена вероятнее всего особенностями блочно-тектонического строения породного массива Талнахского рудного узла, связанного со средним размером тектонических блоков, составляющим по результатам исследований 80–100 м [14–16].

На данной стадии отработки наблюдения за проявлением горного давления в районе залежи С-2, проводимые визуальными и инструментальными (геофизическими и геомеханическими) методами по мере развития отработки, показывают, что при пролете подработки 78 м в передовых подготовительных выработках внешние признаки проявления горного давления отсутствуют, а величина напряжений не превышает 0,55 от предела прочности руды на одноосное сжатие и соответствует категории удароопасности «неопасно».

### Библиографический список

1. Проект «Рудник «Скалистый». Первая очередь. Корректировка». — Норильск : Норильскпроект, 2004.
2. «Положение по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам». — М., 2013.
3. Указания по безопасному ведению горных работ на Талнахском и Октябрьском месторождениях, склонных и опасных по горным ударам. — Норильск, Санкт-Петербург, 2015.
4. Борщ-Компаниец В. И., Макаров А. Б. Горное давление при отработке мощных пологих рудных залежей. — М.: Недра, 1986. — 271 с.
5. Куранов А. Д. Применение численного моделирования для выбора безопасных параметров систем разработки рудных месторождений в высоконапряженных массивах // Записки Горного института. 2013. Т. 206. С. 60–64.
6. Горная геомеханика и маркшейдерское дело : сб. науч. тр. — СПб.: ВНИМИ, 1999. — 496 с.
7. Петухов И. М., Линьков А. М. Механика горных ударов и выбросов. — М.: Недра, 1983. — 279 с.
8. Соколов И. В., Антипин Ю. Г. Систематизация и экономико-математическое моделирование вариантов вскрытия подземных запасов при комбинированной разработке месторождений // Горный журнал. 2012. № 1. С. 67–71.
9. Wang Yi-Zhuang, Li Xiao-Zhao, Zhang Yansong, Zhao-Bao, Yuan Liang, Cheng Jin-Yuan. Fangzai Jianzai Gongcheng Xuebao // J. Disaster Prev. and Mitigation Eng. 2011. No. 4. P. 441–449.
10. Stefanov Yu. P., Chertov M. A., Aidagulov G. R., Myashnikov A. V. Dynamics of inelastic deformation of porous rocks and formation of localized compaction zones studied by numerical modeling // J. Mech. and Phys. Solids. 2011. Vol. 59, No. 11.
11. Wang N., Wan B. H., Zhang P., Du X. L. Analysis on deformation development of open-pit slope under the influence of underground mining // Proceedings of International Symposium on Land Reclamation and Ecological Restoration. — Beijing, China, 2015. P. 53–58.
12. Wang D. S., Chang J. P., Yin Z. M., Lu Y. G. Deformation and failure characteristics of high and steep slope and the impact of underground mining // Transit Development in Rock Mechanics-Recognition, Thinking and Innovation : Proceedings of the 3rd ISRM Young Scholars Symposium on Rock Mechanics. — USA, 2014. P. 451–457.
13. Карелин В. Н., Марысюк В. П., Наговицин Ю. Н., Вильчинский В. Б. Исследование геомеханического состояния рудопородного массива в поле рудника «Скалистый» // Горный журнал. 2010. № 6. С. 63–65.
14. Галаов Р. Б., Звездкин В. А., Шабаров А. Н. Геомеханическое обоснование безопасных способов разработки тектонически напряженных блоковых структур рудных залежей Талнахского узла // Горный журнал. 2013. № 12. С. 17–21.
15. Тер-Мартirosyan A. Z., Мирный А. Ю., Сидоров В. В., Соболев Е. С. Определение параметров модели Hardening Soil по результатам лабораторных испытаний // Геотехника. Теория и практика : общероссийская конференция молодых ученых, научных работников и специалистов : межвузовский тематический сборник трудов. — СПб.: СПбГАСУ, 2013. С. 141–146.
16. Оловянный А. Г. Гравитационный боковой распор и тектонические и тектонические напряжения в массиве горных пород // Маркшейдерский вестник. 2011. № 3. С. 40–46. **ПЖ**

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 7, pp. 10–14  
DOI: dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.07.02

### Pre-stopping assessment of stress state of ore body S-2 in Skalistaya Mine

#### Information about author

**R. B. Galaov**<sup>1</sup>, Deputy Director in Mineral-Raw Materials Management, andreevaiv@tf.nk.norilsk.ru

**A. A. Kisel**<sup>1</sup>, Head of Geodynamic Safety Department

**A. A. Andreev**<sup>2</sup>, Head of Norilsk Sector

**V. V. Zubkov**<sup>2</sup>, Chief Researcher, Doctor of Engineering Sciences

<sup>1</sup> Polar Division, Norilsk Nickel, Norilsk, Russia

<sup>2</sup> VNIMI, Saint-Petersburg, Russia

#### Abstract

Skalistaya mine field lies northwards Komsomosky mine field and is a part of the Talnakh copper-nickel sulfide ore deposit. Geomechanics of enclosing rock mass of ore body S-2 is governed by adjacency of Norilsk-Kharaelakh fault and sub-parallel dip-slips, sub-meridional strike-and-dip slips and reverse faults, is characterized by steep dip angles of these dislocations and conditions considerable level of damage and, thus, low stability of ore body and enclosing rocks. Moreover, S-2 ore body is rockburst-hazardous; for this reason, mining safety requires a package of rockburst prediction and prevention measures, and stoping is carried out in safety zones due to relaxation drilling. Aimed at efficient

rockburst prevention planning, a ring of core holes was drilled from development drives in order to define stress tensor of initial rock mass unaffected by stoping. The borehole data were used to ensure safety of primary cutting. Considering predominant horizontal stresses oriented across stoping axis, after driving a stope drift, it was recommended to implement local rockburst-hazard prediction based on core disk and drilling data in the drift roof per each 20 m of blasting. Stress assessment showed nonhazardous level of stresses, and no special actions to prevent from rockbursting were required. As stoping was advanced, stresses in ore body under mining were assessed by mathematical modeling using SUIT3D. The modeling yielded that at the early stage of S-2 ore body mining, increased rock pressure zone was to extend up to 5 m around the stoping while stresses reached the value of 1.4γH. At this stage of mining, visual and instrumental (geophysical and geomechanical) monitoring of rock pressure near S-2 ore body showed no rock pressure events in advanced development drives with the undercut span 78 m long, and stresses were under 0.55 of uniaxial compression limit of ore, which was nonhazardous category of rockburst hazard rating.

**Keywords:** stress state, stress tensor, core hole drilling, mathematical modeling, rockburst hazard category, ore body cutting, increased rock pressure zone.

#### References

1. Proekt «Rudnik «Skalistsyy». Pervaya ochered. Korrektyrovka» (Project "Skalistsy mine. First order. Correction"). Norilsk : Norilskproekt, 2004. (in Russian)
2. Available at: <http://tke.ru/news/ntd/1397539049/> (in Russian)
3. Ukazaniya po bezopasnomu vedeniyu rabot na Talnakhskom i Oktyabrskom mestorozhdeniyakh,

sklonnykh i opasnykh po gornym udaram (Regulations for safe mining operations at Talnakh and Oktyabrskoe deposits, inclined and prone to rock-bumps). Norilsk, Saint Petersburg, 2015. 88 p. (in Russian)

- Borshch-Kompaniets V. I., Makarov A. B. *Gornoe davlenie pri obrabotke moshchnykh pologikh rudnykh zalezhey* (Rock pressure during thick flat ore deposits mining). Moscow : Nedra, 1986. 271 p.
- Kuranov A. D. *Primenenie chislennogo modelirovaniya dlya vybora bezopasnykh parametrov sistem razrabotki rudnykh mestorozhdeniy v vysokonapryazhennykh massivakh* (Application of numerical modeling for the choice of safe parameters of ore deposit mining systems in high-stressed massifs). *Zapiski Gornogo instituta = Proceedings of the Mining Institute*. 2013. Vol. 206. pp. 60–64.
- Gornaya geomekhanika i marksheyderskoe delo: sbornik nauchnykh trudov* (Mining geomechanics and mine surveying: collection of scientific proceedings). Saint Petersburg : Research Institute of Mining Geomechanics and Mine Surveying, 1999. 496 p. (in Russian)
- Petukhov I. M., Linkov A. M. *Mekhanika gornykh udarov i vybravov* (Mechanic of rock bumps and discharges). Moscow : Nedra, 1983. 279 p.
- Sokolov I. V., Antipin Yu. G. *Sistematzatsiya i ekonomiko-matematicheskoe modelirovanie variantov vskrytiya podzemnykh zapasov pri kombinirovannoy razrabotke mestorozhdeniy* (Systematization and economic-mathematical modeling of methods of underground reserves opening during the combined deposit mining). *Gornyi Zhurnal = Mining Journal*. 2012. No. 1. pp. 67–71.
- Wang Yi-Zhuang, Li Xiao-Zhao, Zhang Yans-Song, Zhao-Bao, Yuan Liang, Cheng Jin-Yuan. *Fangzai jianzai gongcheng xuebao*. International Journal of Disaster Risk Reduction. 2011. No. 4. pp. 441–449.
- Stefanov Yu. P., Chertov M. A., Aidagulov G. R., Myashikov A. V. *Dynamics of inelastic deformation of porous rocks and formation of localized compaction zones studied by numerical modeling*. Journal of the Mechanics and Physics of Solids. 2011. Vol. 59, No. 11.
- Wang N., Wan B. H., Zhang P., Du X. L. *Analysis on deformation development of open-pit slope*

under the influence of underground mining. Proceedings of International Symposium on Land Reclamation and Ecological Restoration. Beijing, China, 2015. pp. 53–58.

- Wang D. S., Chang J. P., Yin Z. M., Lu Y. G. *Deformation and failure characteristics of high and steep slope and the impact of underground mining*. Transit Development in Rock Mechanics-Recognition, Thinking and Innovation : Proceedings of the 3rd ISRM Young Scholars Symposium on Rock Mechanics. USA, 2014. pp. 451–457.
- Karelin V. N., Marysyuk V. P., Nagovitsin Yu. N., Vilchinsky V. B. *Issledovanie geomekhanicheskogo sostoyaniya rudoporodnogo massiva v pole rudnika «Skalisty»* (Investigation of geomechanical state of ore-rock massif in the Skalisty mine field). *Gornyi Zhurnal = Mining Journal*. 2010. No. 6. pp. 63–65.
- Galaov R. B., Zvezdkin V. A., Shabarov A. N. *Geomekhanicheskoe obosnovanie bezopasnykh sposobov razrabotki tektonicheski napryazhennykh blokovykh struktur rudnykh zalezhey Talnakhskogo uzla* (Geomechanical substantiation of safe methods of development of tectonically stressed block structures of Talnakh cluster ore deposits). *Gornyi Zhurnal = Mining Journal*. 2013. No. 12. pp. 17–21.
- Ter-Martirosyan A. Z., Mirnyy A. Yu., Sidorov V. V., Sobolev E. S. *Opreделение parametrov modeli Hardening Soil po rezultatam laboratornykh ispytaniy* (Definition of Hardening Soil model parameters according to the results of laboratory investigations). *Geotekhnika. Teoriya i praktika: obshcherossiyskaya konferentsiya molodykh uchenykh, nauchnykh rabotnikov i spetsialistov: mezhdunarodnyy tematicheskiy sbornik trudov* (Geotechnics. Theory and practice: All-Russian conference of young scientists, researches and specialists: inter-university thematic collection of proceedings). Saint Petersburg : Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2013. pp. 141–146.
- Olovyannyi A. G. *Gravitatsionnyy bokovoy raspor i tektonicheskie napryazheniya v massive gornykh porod* (Gravitation horizontal stress and tectonic stresses in rock massif). *Marksheyderskiy Vestnik = Mine Surveying Bulletin*. 2011. No. 3. pp. 40–46.

УДК 622.012.2:550.343.6

## ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ШАХТЕ «СКАЛИСТАЯ»



**В. П. МАРЫСЮК**,  
директор, канд. техн. наук,  
marysyukvp@tf.nk.nornik.ru



**М. В. ТЕРЕЩЕНКО**,  
инженер 2-й категории

Центр геодинамической безопасности  
ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», Норильск, Россия



**С. В. ЦИРЕЛЬ**,  
старший научный сотрудник,  
д-р техн. наук,  
Санкт-Петербургский  
национальный минерально-  
сырьевой университет «Горный»,  
Санкт-Петербург, Россия



**С. Н. МУЛЁВ**,  
зав. лабораторией,  
АО «ВНИМИ»,  
Санкт-Петербург, Россия

Рассмотрены методы оценки сейсмической активности и региональной удароопасности на шахте «Скалистая» рудника «Комсомольский» ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель». Показано, что методика, рекомендованная для установленной на шахте сейсмостанции ISS и основанная на соотношении сейсмической энергии и сейсмического момента (полной энергии), оказалась малоэффективной для оценки сейсмической опасности, поэтому была принята методика, основанная на комплексном показателе F. Для уточнения применения данной методики анализируется зависимость максимального значения F от размера ячейки. Показано, что эта зависимость является линейной и, как правило, крупным сейсмособытиям предшествует возрастание коэффициента пропорциональности и затем некоторый спад в самой опасной зоне.

**Ключевые слова:** шахта, рудник, горный массив, сейсмоактивность, удароопасность, сейсмическая энергия, прогностические признаки, методы оценки, линейная зависимость.

**DOI:** dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.07.03

### Введение

Шахта «Скалистая» относится к наиболее глубоким рудникам России и обрабатывает удароопасные руды. Для сейсмического мониторинга, в отличие от остальных рудников и шахт России, используется сейсмостанция ISS [1, 2].

Исходно планировалось для оценки сейсмической обстановки и прогноза сейсмических рисков применять методику ISS [3–8],