



УДК 622.831.32

А. Г. АНОХИН, В. П. МАРЫСЮК, Ю. Н. НАГОВИЦИН (ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель»)
А. А. АНДРЕЕВ, С. Н. МУЛЁВ (ОАО «ВНИИМИ»)

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОРЯДКА ОТРАБОТКИ ЮЖНОЙ ЧАСТИ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО МАССИВА РУДНИКА «ОКТЯБРЬСКИЙ»*



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



В. П. МАРЫСЮК,
главный инженер ЦГБ,
канд. техн. наук



Ю. Н. НАГОВИЦИН,
начальник
отдела Центра
геодинамической
безопасности



А. А. АНДРЕЕВ,
зав. Норильским
сектором



С. Н. МУЛЁВ,
зав. лабораторией
геофизических
исследований

На основе анализа реальных горнотехнических, горно-геологических и геомеханических условий представлены обоснование и оценка порядка доработки южной части разделительного массива (РМ-1) рудника «Октябрьский», а также разработанный и реализованный проект отработки ленты 9/9 (выемочной единицы) по предложенной технологии, с опережением фронта очистных работ, что позволило существенно снизить напряженность рудного массива для его последующей безопасной разработки.

Ключевые слова: разделительный массив, повышенные напряжения, деформации, сейсмическая активность, рудные целики, очистные работы, подготовительная выработка, выемочная единица, лента, пролет подработки, разгрузка массива.

Разделительный массив (РМ-1) рудника «Октябрьский» сформирован в результате встречного движения меридиональных фронтов очистных работ: восточного крыла шахты 1 и западного крыла шахты 2. Длина РМ-1 составляла 720 м. По достижении ширины разделительного массива между меридиональными фронтами 64 м дальнейшую его разработку проводили только двумя расходящимися фронтами широтной ориентации (**рис. 1**). В результате наложения зон опорного давления от встречных, а затем и перпендикулярных фронтов разделительный массив в течение всего периода разработки стал объектом повышенной геодинамической опасности: в его границах происходили наиболее опасные, в том числе с тяжелыми последствиями, проявления горного давления в динамической форме.

Помимо конфигурации выработанного пространства, этому способствовали также сложные горно-геологические условия — ярко выраженная тектоническая нарушенность, формирующая блочно-иерархическую структуру рудопородного массива. В результате на общем фоне повышенного горного давления, вызванного порядком разработки, возникали локальные зоны концентрации напряжений в отдельных тектонических блоках.

В сложных геомеханических условиях все опережающие горные выработки, ранее пройденные в рудном массиве, пришли в аварийное состояние и были выведены из эксплуатации, а вновь проводимые для технологических нужд (обеспечение транспортной доступности, проветривание и др.), несмотря на усиленные меры по их поддержанию, сохранялись в среднем не более 5 лет, после чего возникала необходимость их погашения в связи с невозможностью дальнейшего использования.

По состоянию на начало 2010 г. в панели 9 южной части РМ-1 передовая очистная выработка находилась в ленте 9/2, передовой разрезной штрек — в ленте 9/4. Размеры рудного целика составляли 64 м в широтном и около 80 м в меридиональном направлении (**рис. 2**). В этот период возобновился рост сейсмической активности горного массива: значение комплексного показателя сейсмической активности (критерий F) превысил критическое значение 200, что свидетельствовало о формировании очага напряжений в районе разделительного массива. И хотя проведенные службой прогнозирования горных ударов локальные определения показали невысокие напряжения, соответствующие категории удароопасности «неопасно», повышенный сейсмический режим представлял опасность для ведения работ как в виде от-

* В работе принимали участие К. В. Смолов, зам. главного инженера Горно-геологического управления по закладочным работам и креплению и Н. К. Тухватуллин, специалист I категории отдела управления горным давлением Центра геодинамической безопасности (ЦГБ), М. П. Сергунин, начальник отдела управления горным давлением ЦГБ.

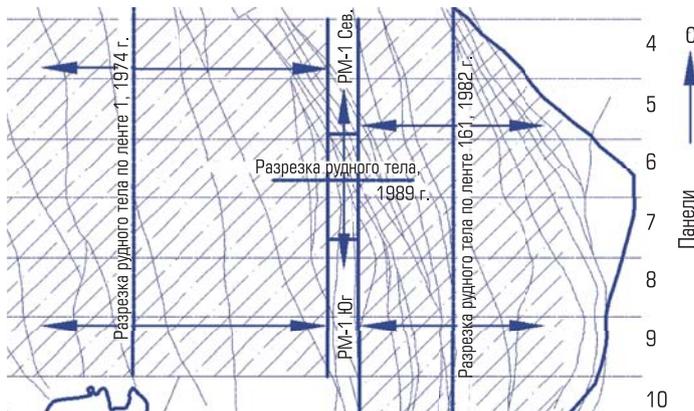


Рис. 1. Схема формирования северной и южной частей разделительного массива РМ-1

слоений горной массы в результате сотрясений массива, так и по вероятности проявления более мощных геодинамических явлений в виде толчков или горно-тектонических ударов.

Анализ горно-геологических, горнотехнических и геомеханических условий показал, что к началу исследуемого периода по всей площади РМ-1 и примыкающего к нему предохранительного целика стволов ВЗС-ВВС осуществлена площадная разгрузка напряженного массива скважинами большого диаметра, а рудный массив РМ-1 характеризуется ярко выраженной тектонической нарушенностью и значительной изрезанностью как действующими, так и погашенными выработками. Действовавшие до завершения площадной скважинной разгрузки повышенные напряжения приводили к запредельному деформированию рудных элементов (конструкций) с формированием сети микро- и макротрещин. Региональная разгрузка скважинами большого диаметра еще больше увеличила деформационные характеристики рудного массива, что значительно снизило вероятность возникновения динамических форм проявления горного давления.

Результаты определения категории удароопасности методом дискования керна, а также визуальные наблюдения за состоянием нарезных, очистных и подготовительных выработок в РМ-1 показали, что в подавляющем большинстве колонковых скважин керна представлен столбиками, обломочным материалом или шламом в соотношении 37:29:34. Это свидетельствует об отсутствии в глубине рудного массива монолитных элементов, способных накопить упругие деформации. Наблю-

дения за состоянием горных выработок горизонта подсежки показали, что основная доля разрушений контура и нарушений крепи происходит прежде всего в боках выработок и в реологическом режиме, т. е. процесс растянут во времени.

В таких горно-геологических условиях, когда РМ-1 деформируется в пластическом режиме, опасность для ведения горных работ представляют уже не динамические проявления горного давления, а снижающаяся устойчивость обнажений горных выработок при продолжающихся деформациях рудного массива. Характер распределения напряжений подтверждается также результатами сейсмического мониторинга: в течение последних нескольких лет прослеживается устойчивая тенденция проявлений геодинамических явлений в породах почвы рудного тела. Безусловно, сочетание сейсмической активности и низкой устойчивости обнажений горных выработок создает опасность падения «заколов» и внезапных обрушений при сотрясении массива.

Исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) почвы РМ-1 показали, что нагрузки, передаваемые рудным массивом на зажатые с низу и с боков подстилающие породы, со временем приводят к накоплению значительных упругих деформаций, которые реализуются в виде геодинамических явлений, в том числе с повышенной энергией. Для увеличения деформируемости пород почвы рекомендованы различные способы их разуплотнения, в частности камуфлетное взрывание зарядов ВВ в скважинах.

Анализ зависимости сейсмической активности от интенсивности ведения взрывных работ, выполненный совместно с региональной сейсмостанцией, а также опыт проведения опережающих подготовительных выработок в РМ-1 показали, что сотрясатель-

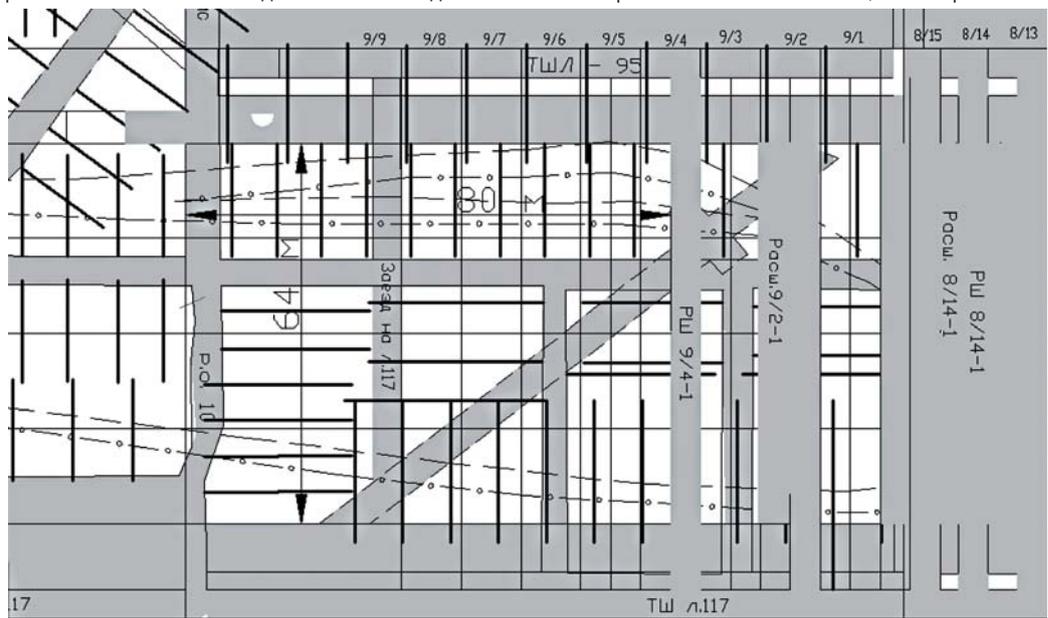


Рис. 2. Положение горных работ в южной части РМ-1 на 01.01.2010 г. (перед началом отработки ленты 9/9 по предложенному проекту)

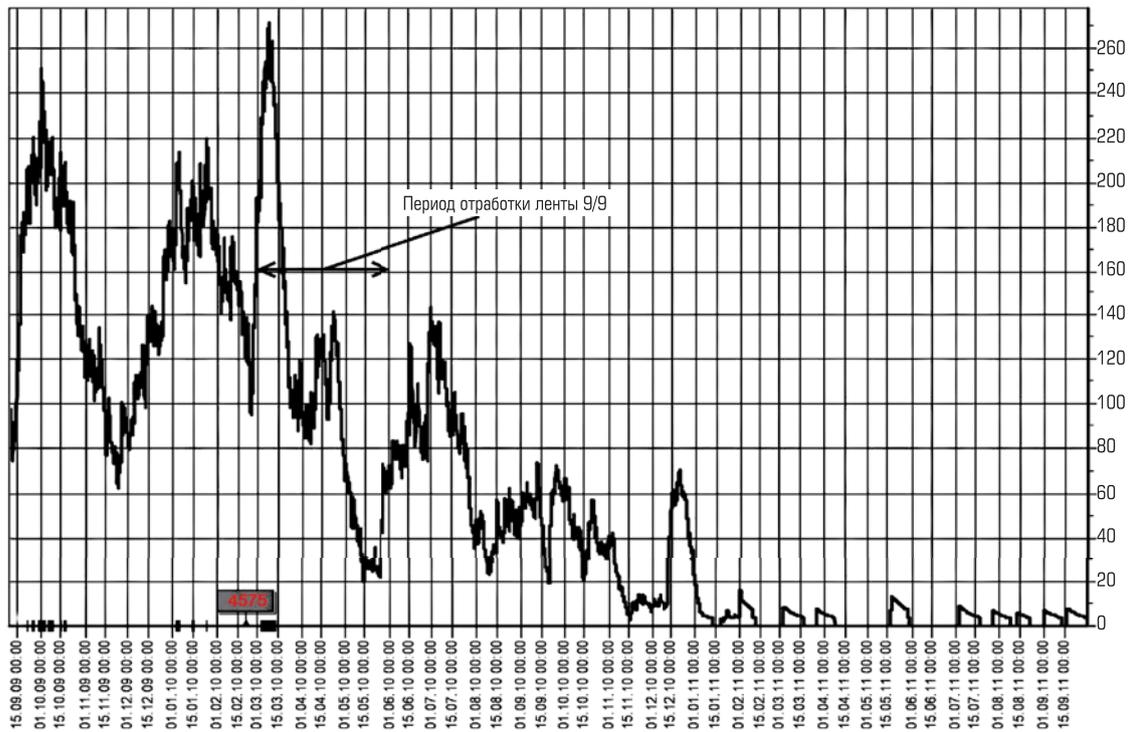


Рис. 3. Изменение показателя сейсмической активности (критерия F) южной части РМ-1 в период с 01.09.2009 по 01.10.2010

ное воздействие взрывных работ позволяет снизить сейсмическую активность участка. Видимо, это связано с тем, что при движении одним фронтом (в данном случае — южным широтным) большая часть разделительного массива, находящегося на удалении от фронта, не подвергается сотрясательному воздействию взрывов, происходит смыкание трещин, т. е. снижение пластических и нарастание упругих деформаций блочной структуры рудопородного массива. При неравномерности нагружения тектонических блоков на контактах со временем накапливаются значительные касательные напряжения, которые реализуются с выделением энергии в горный массив. Отметим, что в пределах панели 9 взрывные работы на протяжении последних 5 лет проводили эпизодически, при проведении одиночных выработок.

Специалистами ВНИМИ и рудника «Октябрьский» разработано нестандартное техническое решение, позволяющее стабилизировать геодинамическую обстановку. С учетом фактической горнотехнической ситуации в середине оставшейся части панели 9 выбрана действующая подготовительная выработка широтной ориентации — заезд на ленту 117 (см. рис. 2). Выработка эксплуатировалась около 5 лет, ее состояние требовало погашения либо значительных затрат на перекрепление. Учитывая это, было принято решение отработать ленту 9/9, в которой расположен заезд на ленту 117. В процессе проектирования были рассмотрены и оценены все факторы, влияющие на разработку как самой ленты 9/9, так и смежных лент в дальнейшем.

Выполненными ранее исследованиями установлено, что в районе РМ-1 вектор главных максимальных напряжений направлен по нормали к плоскости рудного тела (субвертикально), в

связи с чем определяющее значение на перераспределение напряжений после отработки ленты 9/9 будет иметь не высота, а пролет подработки. При выемке запасов богатых руд на ширину 8–10 м пригрузка прилегающего массива будет незначительной, несопоставимой с величинами концентрации напряжений перед фронтом очистных работ. Кроме того, существующий заезд на ленту 117 уже сформировал поле напряжений прилегающей зоны, и их изменение будет связано только с увеличением пролета (ширины) выработки.

Таким образом, авторы проекта полагали, что выемка руды и образование полости по всей ширине разделительного массива (в широтном направлении) окажет благоприятное влияние на НДС как рудного, так и подстилающего породного массивов за счет повышения податливости по вертикальному и меридиональному направлениям, а сотрясательный эффект при проведении нарезных выработок и взрывных работ по выемке запасов ленты 9/9 будет способствовать проскальзыванию тектонических блоков по плоскостям дизъюнктивов и разгрузке блочного рудопородного массива. При последующем подходе широтного фронта к отработанной и заложной ленте 9/9 в районе ленты 9/8 произойдет наложение зоны опорного давления от фронта очистных работ и зоны повышенных напряжений от ленты 9/9. Однако в связи с низкой величиной последних общего увеличения коэффициента концентрации напряжений не будет.

Проект отработки ленты 9/9 реализован в период с марта по май 2010 г. Как показали дальнейшие наблюдения за НДС южной части РМ-1, начиная с отработки ленты 9/9 и до полной выемки запасов панели 9, геодинамическая обстановка не достигла



ла уровня, соответствующего периоду конца 2009 — начала 2010 г. (рис. 3). С начала очистных работ по ленте 9/9 (март 2010 г.) сейсмическая активность массива резко снизилась с 260 до 100, а при ее полной доработке (май 2010 г.) — до 20. Это исторически минимальный показатель для такого сложного геодинамического объекта.

Таким образом, реализован эффективный способ управления горным давлением в РМ-1 без применения специальных противоударных мероприятий, предусмотренных «Инструкцией»* и «Указаниями»**. Снижение геодинамической напряженности участка достигнуто применением стандартной технологической операции — отработкой выемочной единицы. Одновременно отпала необходимость закладки заезда на ленту 117, а в дальнейшем — селективной отбойки и вывозки искусственного массива.

Одним из важнейших условий успешной реализации предло-

женного способа являются исследования и учет всех горно-геологических, горнотехнических и геомеханических особенностей проектируемого участка работ, многолетний опыт разработки РМ-1, а также проведенная ранее площадная разгрузка РМ-1 скважинами большого диаметра, которая позволила вести очистные работы в защищенной зоне, в соответствии с требованиями**. ГЖ

Анохин Александр Геннадьевич,

тел.: +7 (3919) 45-21-57

Марысюк Валерий Петрович,

тел.: +7 (3919) 49-15-34

Наговицын Юрий Николаевич,

тел.: +7 (3919) 37-19-78

Андреев Александр Александрович,

Мулёв Сергей Николаевич,

тел.: +7 (812) 327-21-22

* РД 06-329-99. Инструкция по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях, объектах строительства подземных сооружений, склонных и опасных по горным ударам. — М., 2000.

** Указания по безопасному ведению горных работ на Талнахском и Октябрьском месторождениях, склонных и опасных к горным ударам. — Норильск, 2007.

GEOMECHANICAL SUBSTANTIATION OF MINING SEQUENCE AT THE SOUTH END OF SEPARATORY BLOCK IN OKTYABRSKY MINE

Anokhin A. G.¹, Director, Geodynamic Safety Center, Candidate of Engineering Sciences, Phone: +7 (3919) 37-19-78

Marysyuk V. P.¹, Chief Engineer, Geodynamic Safety Center, Candidate of Engineering Sciences

Nagovitsyn Yu. N.¹, Head of Department, Geodynamic Safety Center

Andreev A. A.², Head of Norilsk Division

Mulev S. N.², Head of Geophysical Research Laboratory

¹ Polar Division, Norilsk Nickel Mining and Metallurgical Company (Norilsk, Russia)

² VNIMI Inter-Industry Scientific Center (Saint-Petersburg, Russia)

A separatory block (SB-1) was formed in Oktyabrsky Mine as a result of the counter-advancing longitudinal fronts of stoping in the east wing of mine-1 and west wing of mine-2. The length of SB-1 was 720 m. When SB-1 width became 64 m, it was further extracted with two diverging latitude-oriented fronts. As a consequence of overlapping of the abutment pressure zones generated by the counter-advancing longitudinal and, then, transverse mining fronts, the separatory block became a geodynamic hazard source for the entire period of extraction; the most hazardous events of rock pressure, including the events with severe after-effects, took place within the boundaries of the separatory block.

Aside from the geometry of the mined-out void, this was contributed to by the complicated mining-and-geological conditions—pronounced tectonic faulting that generated blocky hierarchy in the structure of the ore and rock mass. As a result, in the background of the higher mining-induced rock pressure, local stress concentration zones arose in some tectonic blocks.

Based on the analysis of the real-life mine-technical, mining-and-geological and geomechanical conditions, the article presents validation and estimation of mining sequence at the south end of the separatory block in Oktyabrsky Mine, as well as the developed and implemented extraction project for belt 9/9 (extraction unit) using the proposed technology with advanced stoping, which allowed sensible decrease in the stress level of the ore body for its follow-on safe mining.

Key words: *separatory block, increased stresses, strains, seismic activity, ore pillars, stoping, developing entry, extraction unit, belt, excavation span, rock mass destressing.*

REFERENCES

1. RD 06-329-99. Instruktsiya po bezopasnomu vedeniyu gornyykh rabot na rudnykh i nerudnykh mestorozhdeniyakh, obektakh stroitelstva podzemnykh sooruzheniy, sklonnykh i opasnykh po gornym udaram (DDD 06-329-99. Instruction on safe carrying out of mine operations at ore and non-metallic deposits, objects of construction of underground facilities, inclined and prone to bounces). Moscow, 2000.

2. Ukazaniya po bezopasnomu vedeniyu gornyykh rabot na Talnahskom i Oktyabrskom mestorozhdeniyakh, sklonnykh i opasnykh k gornym udaram (Guidances on safe carrying out of mine operations at Talnah and Oktyabrskoe deposits, inclined and prone to bounces). Norilsk, 2007.