



УДК 662.831.32

© *И. Ю. Рассказов, М. И. Потапчук, Г. М. Потапчук, 2010*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОТРАБОТКЕ НИКОЛАЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ОПАСНОГО ПО ГОРНЫМ УДАРАМ.

Рассказов И. Ю. – д-р техн. наук директор ИГД ДВО РАН тел.: (4212) 32-79-27, e-mail: Rasskazov@igd.khv.ru; *Потапчук М. И.* – науч. сотр. лаборатории проблем разработки рудных месторождений ИГД ДВО РАН, тел.: (4212) 31-18-67, e-mail: potapchuk-igd@rambler.ru; *Потапчук Г. М.* – науч. сотр. лаборатории проблем разработки рудных месторождений ИГД ДВО РАН, тел.: (4212)31-18-67, e-mail: grigoriy516@mail.ru (ТОГУ, ИГД ДВО РАН)

По результатам численного моделирования установлены закономерности формирования напряженно-деформированного состояния в элементах проектируемого варианта системы разработки на различных стадиях отработки участка рудной залежи Николаевского месторождения. Анализ техногенного поля напряжений дал возможность выявить потенциально удароопасные участки горного массива и обосновать эффективные мероприятия по снижению горного давления.

Regularities of the strained-deformed state formation within the components of a variant of the mining method, which is being designed, at various stages of the working of Nikolaevskij's ore deposits are established. Analysis of technogenic stress field made it possible to reveal some potential rock-bump hazardous areas of the ore massif and to substantiate effective measures on the rock pressure decrease.

Ключевые слова: массив горных пород, геомеханическое состояние, система разработки, метод конечных элементов, техногенное поле напряжений, способы снижения удароопасности

Введение

В Дальневосточном регионе при освоении месторождений руд цветных и благородных металлов существенная роль принадлежит подземному способу разработки. Интенсификация и углубление горных работ, постоянно растущие объемы выработанных пространств, приводят к перераспределению исходного напряженного состояния и активизации геодинамических процессов,



следствием которых являются многочисленные случаи динамических проявлений горного давления, резко снижающие эффективность горного производства и представляющие угрозу жизни горняков. В связи с этим проблема прогнозирования и предотвращения этих опасных явлений приобретает особую актуальность. Для обоснования способов предупреждения горных и горно-тектонических ударов необходимо оценить влияние очистной выемки на изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) конструктивных элементов применяемой системы разработки, выявить закономерности формирования техногенного поля напряжений и определить удароопасные участки горного массива в рудничном поле.

Горногеологические и горнотехнические условия разработки месторождения

Сложная геомеханическая обстановка в последние годы складывается на Николаевском полиметаллическом месторождении, которое с глубины 600 м отнесено к категории опасных по горным ударам (в настоящее время горные работы ведутся на глубине 900 м и ниже).

Николаевское месторождение расположено в центральной части Дальнегорского рудного поля, в геологическом строении которого участвуют разнообразные по составу и возрасту геосинклинальные сложнодислоцированные верхнемеловые отложения, образующие нижний структурный этаж, и верхнемеловые вулканогенно-осадочные и вулканогенные породы, слагающие верхний структурный этаж [1, 2]. Осадочные и вулканогенные образования прорваны многочисленными телами порфиритов и более молодыми габбродиоритами, диоритами, андезитами, гранит-порфирами и дайками диабазовых порфиритов.

Месторождение представлено группой скарново-сульфидных залежей сложной формы, приуроченных к границе несогласий между двумя структурными этажами и залегающих на большой глубине от поверхности. Залежи локализуются на контакте верхнетриасовых известняков с несогласно перекрывающими их верхнемеловыми туфами липаритов, андезиты, в которых сформировались сложные рудные тела, линзы и жилы. Главное рудное тело «Восток-1» мощностью от 3–5 до 60–80 м и шириной в центральной части рудного поля до 600 м прослежено с глубины 700 м до 1100 м. Выше и на флангах залежи «Восток-1» расположены глыбовые оруденения и серия маломощных рудных тел.

Геодинамика территории в региональном плане обусловлена приуроченностью к скрытому глубинному разлому субмеридионального направления, сдвиговые движения по которому определили элементы тектонической структуры месторождения. Месторождение имеет характерное блоковое строение, к главным элементам которого относятся крутопадающие Субширотный разлом и Северо-Западная тектоническая зона, разделяющие поле месторождения на три основных структурных блока: северный, центральный и западный. В пределах месторождения выделяются также протяженные кру-



топадающие разрывные пострудные нарушения субмеридионального простирания.

Первоначально месторождение разрабатывалось с применением камерно-целиковой системы разработки с твердеющей закладкой, а в последние годы получен положительный опыт применения камерной системы разработки с управляемым обрушением кровли [3]. Рудную залежь разбивают на блоки, содержащие камеру и целик; в первую очередь извлекают запасы камеры, а затем вынимают целик и осуществляют выпуск руды под защитой породной консоли. Завершив выемку запасов, производят принудительное обрушение пород кровли до проектной высоты и приступают к отработке готового к выемке смежного блока.

По результатам анализа геомеханической и горнотехнической обстановки было установлено, что потенциальную удароопасность представляет неотработанный участок рудной залежи «Харьковская» в этаже -267...-275 м, который отличается повышенной сейсмоакустической активностью и случаями динамических проявлений горного давления [4].

Данный участок расположен между профилными линиями 37 и 40 и сопрягается с юго-западного и северо-восточного направления с ранее отработанными камерами 2–5 Блока 5 и камерами 1–3 Блока 4 соответственно. В результате оставленный участок находится в зоне опорного давления ранее отработанных камер (рис. 1). Его отработка будет осуществляться в юго-восточном направлении, путем обурирования веером скважин через 2–2,5 м, сначала горизонта -267 м, затем -275 м.

Обоснование граничных условий для численного моделирования НДС горного массива

Для оценки техногенного поля напряжений горного массива на данном участке рудничного поля был использован комплексный подход, включающий анализ и обобщение ранее выполненных геомеханических исследований, численное моделирование методом конечных элементов (МКЭ) геомеханических процессов и статистическая обработка полученных результатов.

Численное моделирование исследуемого участка выполняли в плоской постановке задачи. В качестве опорных разрезов, используемых при построении конечно-элементных моделей, были приняты продольный разрез С–С (рис. 6) и 2 поперечных разреза 37 и 39 (рис. 1).

По результатам ранее проведенных геомеханических исследований установлено, что в массиве Николаевского месторождения действует неравнокомпонентное поле напряжений, в котором преобладают горизонтальные тектонические напряжения, в 1,5–2,5 раза превышающие вертикальную гравитационную составляющую [4]. По результатам геомеханического анализа моделируемого участка установлено, что максимальные сжимающие напряжения действуют перпендикулярно участку рудной залежи «Харьковская», расположенному между камерами 2–5 Блока 5 и камерами 1–3 Блока 4 рудной (рис. 1).

Для моделирования участка массива вдоль продольного разреза С–С приняты следующие граничные условия: на глубине 610 м от поверхности (горизонт -220 м) величины первых главных напряжений, действующих в горизонтальной плоскости составят $\sigma_1 = 24,2$ МПа, вторые главные напряжения, действующие в вертикальной плоскости будут равны соответственно $\sigma_2 = 16,16$ МПа; на глубине 700 м (горизонт -320 м) величины главных напряжений соответственно будут равны $\sigma_1 = 27,8$ МПа, а $\sigma_2 = 18,54$ МПа.

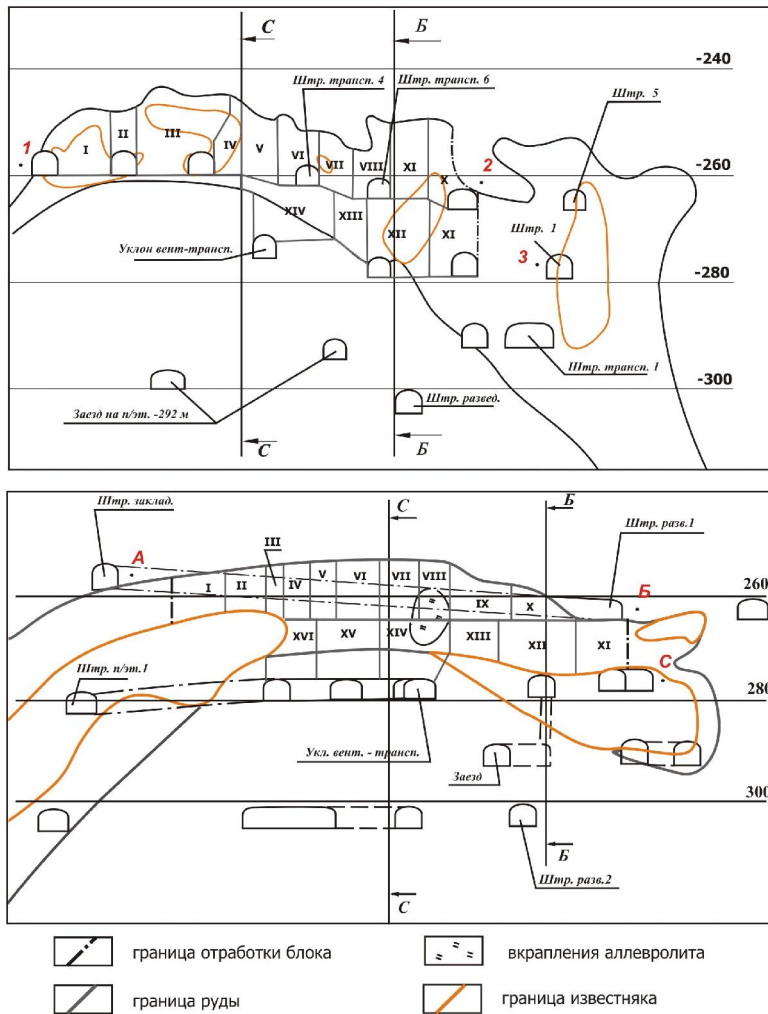
Для моделирования области массива горных пород вдоль продольных разрезов (37 и 39) задавались следующие параметры главных напряжений: на глубине 530 м (гор. -150 м) $\sigma_1 = 35$ МПа, $\sigma_2 = 14$ МПа; на глубине 720 м (гор. -340 м) величины равны соответственно $\sigma_1 = 47,5$ МПа и $\sigma_2 = 19$ МПа. Сдвиговые компоненты приняты равными нулю.

Физико-механические свойства пород и руд Николаевского месторождения исследовались как в лабораторных, так и в натуральных условиях [4]. Результаты исследований механических характеристик показали, что практически все вмещающие породы и руды обладают достаточно высокой прочностью, способны к накоплению потенциальной энергии упругого сжатия и хрупкому разрушению в динамической форме. У всех вмещающих пород и руд расчетной модели соотношение упругой и общей деформации превышало 0,7 ($K_{уд} = \epsilon_{упр}/\epsilon_{общ} > 0,7$), что свидетельствует об их способности разрушаться в динамической форме.

Анализ особенностей формирования техногенного поля напряжений в элементах проектируемой системы разработки при отработке исследуемого участка рудной залежи «Харьковская»

При исследовании НДС горного массива оценивали общий характер напряженного состояния, а также изменение уровня напряжений в отдельных точках массива по мере увеличения выработанного пространства в процессе отработки блока (см. рис. 1). Результаты расчетов представлялись в виде изолиний средних нормальных напряжений $\sigma_{cp} = (\sigma_1 + \sigma_2)/2$ и интенсивности касательных напряжений $\tau_{инт} = (\sigma_1 - \sigma_2)/2$.

Математическим моделированием НДС разрабатываемого массива горных пород установлено, что под влиянием очистной выемки происходит формирование сложного техногенного поля напряжений, характеризующегося наличием как областей разгрузки (преимущественно зоны над выработанным пространством), так и появлением зон концентрации напряжений в крайних частях массива.



I-XI – очередность отработки рудной залежи;
1, 2, 3, А, Б и С – характерные точки в массиве

Рис. 1. Обобщенные расчетные схема для моделирования НДС участка Николаевского месторождения: а – разрез 37; б – разрез 39

До начала отработки рудного массива напряжения сжатия равномерно распределялись вокруг существующих выработок, при этом значения $\sigma_{ср}$, как правило, не превышали 50 МПа. На начальных стадиях отработки повышенные напряжения концентрируются преимущественно в бортах выработок, из которых производили отбойку руды (рис. 2), а также в районе вентиляционно-транспортного уклона и разведочного штрека 1.

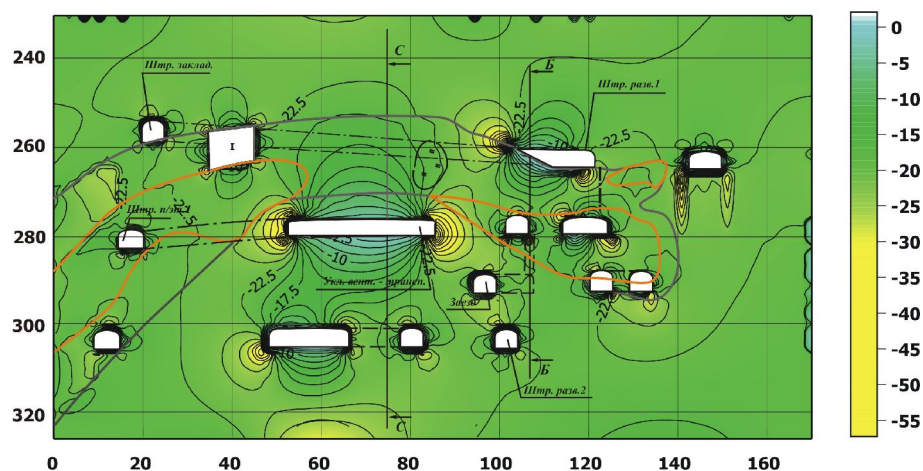


Рис. 2. Распределение среднего давления σ_{cp} в массиве горных пород на начальных этапах отработки целика (поперечный разрез 39)

В участке массива вдоль разреза 39 это превышение составляет 7 МПа. Значения максимальных концентраций напряжений достаточно далеки от предела прочности пород на сжатие слагающих пород и разрушение выработок в динамической форме на начальной стадии развития очистных работ не прогнозируется. По мере отработки верхней части запасов (I–VI) происходит равномерный рост касательных и нормальных напряжений краевых частей массива (рис. 3). Максимальные концентрации напряжений, приближающиеся к пределу прочности на сжатие вмещающих пород, наблюдаются в области транспортного штрека 4 ($\sigma_{cp} = 87$ МПа) и превышают этот предел (σ_{cp} превышают 100 МПа) на участке, где расположен вентиляционно-транспортный уклон, что свидетельствует о высокой степени удароопасности данных участков.

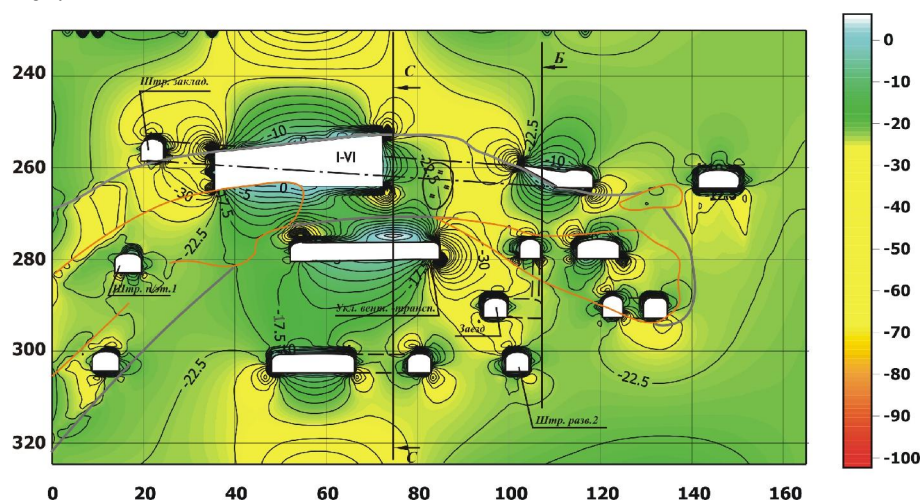


Рис. 3. Распределение среднего давления σ_{cp} в массиве горных пород при отработке части запасов верхней части отработываемого блока по разрезу 39



После полной отработки верхней части блока (рис. 4) в область повышенных напряжений попадают два штрека (закладочный и разведочный). Уровень напряжений вблизи их контура превышает первоначальный соответственно в 3 и 2,8 раза (рис. 5) и достигает 150 МПа. При этом наблюдается существенное различие в характере изменения напряженно-деформированного состояния в приконтурной зоне этих выработок.

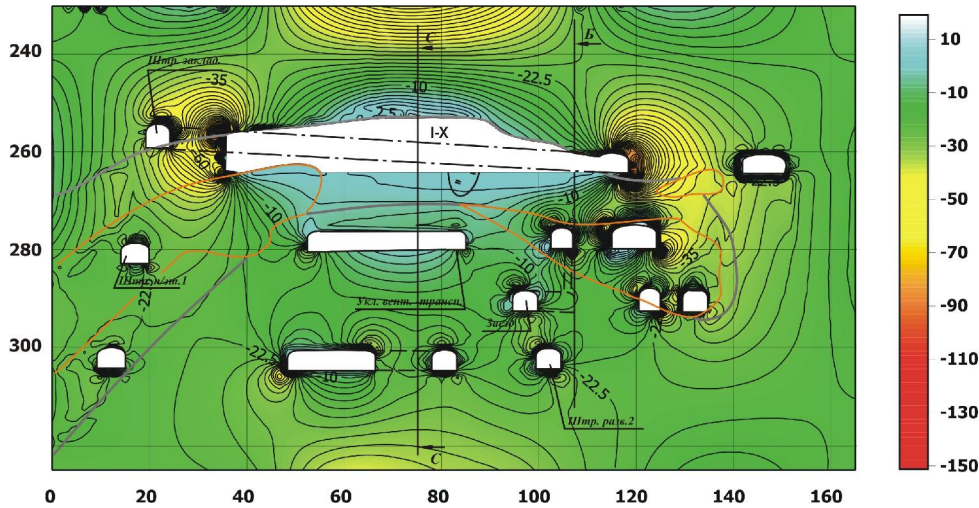


Рис. 4. Распределение среднего давления σ_{cp} в массиве горных пород при полной отработке верхней части обрабатываемого блока по разрезу 39

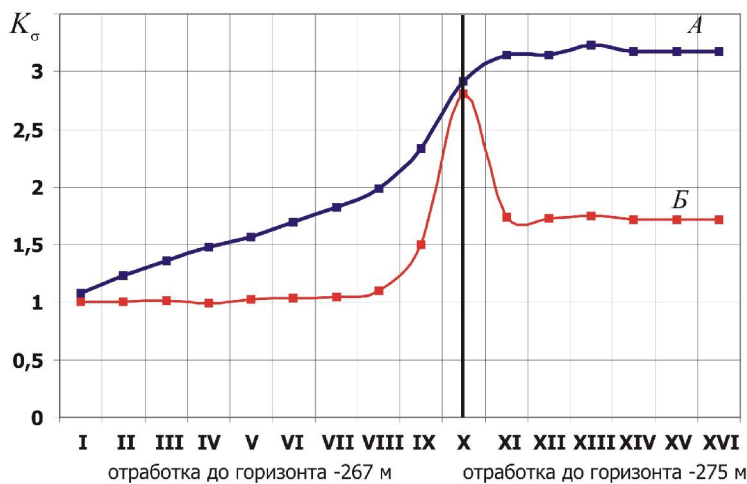


Рис. 5. Изменение K_{σ} в области закладочного (точка А) и разведочного штреков (точка Б) на различных стадиях отработки блока

Если в массиве горных пород в области закладочного штрека (точка А) рост напряжений происходит прямо пропорционально увеличению объемов выработанного пространства, то в области разведочного штрека резкий рост напряжений (в 2,5–2,8 раз) наблюдается на X стадии отработки и их величина превышает предел прочности пород на сжатие, что с большой вероятностью может привести к динамическим проявлениям горного давления. Затем, с началом отработки нижележащего горизонта -275 м, наблюдается спад напряжений в 2 раза, величина их в дальнейшем остается неизменной до полной отработки блока.

После полной отработки верхней части блока по 37 разрезу области повышенных напряжений концентрируется преимущественно в краевых частях массива выше горизонта -260 м во вмещающих породах, где величина напряжений превышает предел прочности на сжатие и может привести к разрушению этих участков, и в почве разведочного штрека на отметке -267 м в более прочном и устойчивом рудном массиве и динамические проявления здесь не прогнозируются. Кроме того, было установлено, что в области над выработанным пространством формируются зоны разгрузки (уровень растягивающих напряжений здесь превышает 10 МПа), что может вызвать обрушение кровли камеры (рис. 6). С переходом горных работ на горизонт -275 м наблюдается резкий рост средних нормальных напряжений σ_{cp} (на 30 МПа и более) в области транспортного штрека 1 и закладочного штрека.

По результатам моделирования участка продольного разреза С–С было установлено, что область повышенных напряжений в процессе отработки будет сосредоточена между кольцевым и диагональным квершлагами, расположенными в отметках -307,5 и -323 м соответственно. Величина максимальных касательных и нормальных напряжений в правом борту и почве кольцевого квершлага в 3,5 раза превышает первоначальный уровень. На совмещенном плане горных работ (рис. 6) показаны наиболее напряженные потенциально удароопасные области в районе рудной залежи «Харьковская» на данном этапе отработки месторождения. К ним относятся следующие участки массива: в северо-западном борту выработанного пространства; в районе закладочного штрека (отметки -260... - 250 м); между кольцевым и диагональным квершлагами в отметках - 307,5... - 323 м.

Для снижения удароопасности наиболее напряженных и потенциально удароопасных участков месторождения, образующихся в результате отработки очистных блоков, обоснован комплекс мероприятий, предусматривающий изменение формы поперечного сечения выработки в сочетании с щелевой разгрузкой наиболее напряженных частей массива и целиков. При этом снижение концентраций напряжений в кровле выработок достигается за счет придания сечению выработок шатрообразной формы, что не только снизит вероятность динамических проявлений горного давления, но и обеспечит им более высокую устойчивость. Разгрузочные щели рекомендуется создавать в почве и бортах выработок, ориентируя их преимущественно вдоль направле-



ния σ_{max} что в наибольшей степени обеспечит снижение уровня опасных концентраций напряжений [3, 5, 6].



1 – потенциально удароопасные участки массива горных пород (пунктир);
 2 – критические значения напряжений, превышающие предел прочности на сжатие слагающих пород (сплошная линия)

Рис. 6. Наиболее удароопасные участки при полной отработке очистного блока в этаже -267... -275 м

а) на совмещенном плане горизонтов -267... -275 м

б) на поперечных разрезах 37-37, 39-39 и продольном С-С



Библиографические ссылки

1. *Гарбузов С. П.* Особенности геологии и генезиса Николаевского скарново-полиметаллического месторождения (Приморье): автореф. дис.... канд. геол.-минер. наук. Владивосток, 1984.
2. *Розулина Л. И., Свешиникова О. Л.* Николаевское скарново-полиметаллическое месторождение (Приморье, Россия) // Геология рудных месторождений. 2008. № 1.
3. *Методы* контроля и управления горным давлением на рудниках ОАО «МГК «Дальполиметалл» / И. Ю. Рассказов, Г. А. Курсакин, А. М. Фрейдин, В. Н. Черноморцев, С. П. Осадчий // Горный журнал. 2006. № 4.
4. *Рассказов И. Ю.* Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона. М., 2008.
5. *Инструкция* по безопасному ведению горных пород на рудниках и нерудных месторождениях, объектах строительства подземных сооружений, склонных и опасных по горным ударам (РД 06-329-99) / кол. авторов. М., 2000.
6. *Указания* по безопасному ведению горных работ на Николаевском и Южном месторождениях (ОАО «ГМК«Дальполиметалл»), опасных по горным ударам / И. Ю. Рассказов, Г. А. Курсакин, А. М. Фрейдин, В. Н. Черноморцев, С. П. Осадчий и др. // Указания по ведению горных работ. Хабаровск, 2008.