

УДК 622.274

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НАКОПИВШИХСЯ ПУСТОТ
НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРАБОТКИ АРТЕМЬЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Ю. Н. Шапошник, А. А. Неверов, С. А. Неверов, А. М. Никольский

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: nnn_aa@mail.ru,
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Разработана параметрическая модель состояния выработанного пространства Артемьевского рудника, определены параметры и прогнозные объемы накопившихся пустот и обнажений в границах отработки запасов первой очереди месторождения. Дана оценка устойчивости горных выработок по результатам трехмерного моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород. Реализация выполненных рекомендаций позволит обеспечить безопасную доработку первой и отработку запасов второй очереди месторождения.

Пустоты, напряженно-деформированное состояние, моделирование, устойчивость, безопасность, Артемьевское месторождение, руда

При подземной отработке месторождений полезных ископаемых камерными системами в земных недрах образуется большое количество пустот и обнажений. Их накопление ведет к значительному ухудшению горнотехнической обстановки на месторождениях: провоцирует динамические явления, отрицательно сказывается на устойчивости обнажений и состоянии земной поверхности, при отработке самовозгорающихся руд вызывает подземные пожары. Управление горным давлением при этом осуществляется обрушением или самообрушением вмещающих пород, закладкой выработанного пространства и реже — за счет естественной сохранности открытых выработок [1–3].

На Артемьевском руднике ПО “Востокцветмет” (Республика Казахстан) возникла проблема безопасной доработки первой и отработки запасов второй очереди месторождения, обусловленная накоплением к настоящему времени 388 тыс. м³ погашенных пустот.

Основная цель настоящей работы — детальная геомеханическая оценка сложившейся горнотехнической ситуации на месторождении, которая характеризуется значительным объемом образовавшихся пустот. Зона распространения пустот по простиранию и вкрест простирания залежей составляет соответственно 1400 и 450 м. Их количество — более 250, пространственное расположение хаотичное, форма изометрическая.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕСТОРОЖДЕНИИ

На Артемьевском руднике осуществляется разработка месторождения полиметаллических руд, расположенного в Восточно-Казахстанской области в 120 км северо-западнее от г. Усть-Каменогорск.

В морфологическом строении рудного поля различаются пластообразные залежи, плитообразные линзы и рудные тела изометрической формы. К настоящему времени в границах разведанных запасов выделено семь рудных залежей: “Камышинская”, “Основная”, “Промежуточная”, “Восточная”, “Юго-Восточная”, “Западная” и “Центральная”. Коэффициент крепости руд и пород по шкале Протодяконова составляет $f=6-12$. Характерными особенностями месторождения являются: высокая ценность руд, их слеживаемость и пожароопасность, присутствие устойчивых, средней устойчивости, неустойчивых участков руд и пород.

Большая часть “Камышинской” залежи отработана карьером. Наиболее крупные запасы относятся к залежи “Основная”, в которой сосредоточено более 50% балансовой руды. Ее отработка ведется в интервале отметок $-50 \div -250$ м.

Запасы месторождения в пределах первой очереди отработки вскрыты вертикальными стволами: Камышинский (обеспечивает спуск-подъем людей и выдачу руды), Воздухоподающий и Вентиляционный. Доставка материалов и спуск самоходного оборудования осуществляется по транспортному уклону, пройденному с борта карьера “Камышинский” (рис. 1).

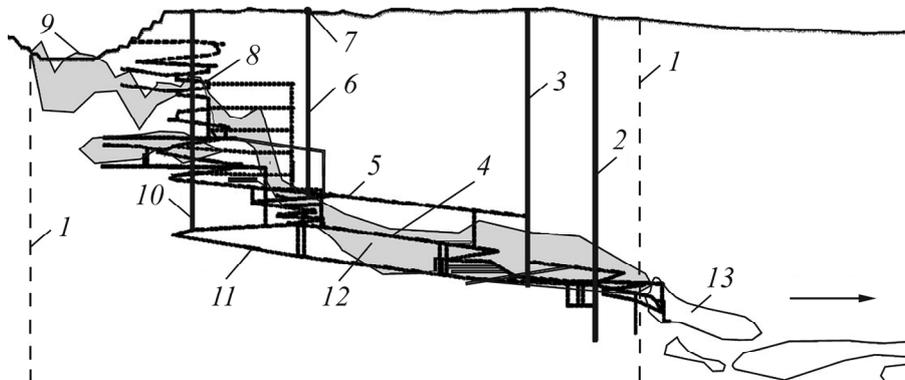


Рис. 1. Схема вскрытия Артемьевского рудника: 1 — граница первой очереди отработки; 2 — Камышинский ствол; 3 — Вентиляционный ствол; 4 — выработки рудного горизонта; 5 — выработки вентиляционно-закладочного горизонта; 6 — закладочные скважины; 7 — закладочный комплекс; 8 — транспортный уклон; 9 — карьер “Камышинский”; 10 — Воздухоподающий ствол; 11 — выработки транспортного горизонта; 12 — погашенные запасы; 13 — рудные тела

Месторождение подготовлено выработками вентиляционно-закладочного, рудного и транспортного горизонтов (см. рис. 1). Использование комплекса самоходных машин на всех технологических процессах обеспечило проведение и эксплуатацию выработок с подъемом до $10-15^\circ$.

Вентиляционно-закладочный горизонт размещается выше рудной залежи на $20-40$ м. Доставочные штреки рудного горизонта пройдены по падению “Основной” залежи. Они делят шахтное поле на северо-восточный и юго-западный фланги отработки. Транспортный горизонт находится под доставочными штреками ниже почвы залежи на $10-15$ м. Руда на транспортный горизонт перепускается через рудоспуски. Расположение доставочных выработок рудного горизонта по падению залежи обусловило развитие горных работ по всей площади шахтного поля.

Добыча медно-цинковых и свинцовых руд на месторождении ведется двумя вариантами систем разработки: камерной с закладкой — 40%; горизонтальными слоями с закладкой — 60%. Камерная система разработки применяется для выемки сплошных руд с устойчивостью выше средней. Система горизонтальными слоями — для отработки вкрапленных руд, устойчивость которых от ниже средней до неустойчивых. Закладка выработанного пространства проводится твердеющими смесями. Все пустоты, накопившиеся на Артемьевском месторождении, делятся на технически необходимые и подготовленные в перспективе к ликвидации.

К технически необходимым относятся пустоты (выработки), которые требуется сохранять для безопасного выполнения запланированных на ближайшую перспективу добычных работ, в том числе: капитальные горные выработки, доставочные штреки, наклонные съезды, заезды в блоки, подземные ремонтные камеры, водосборники и т. д. Пустоты, подготовленные к ликвидации, готовы к закладке или обрушению налегающих вмещающих пород, а также к изоляции путем исключения подходов и доступа к ним.

Прогнозный объем накопившихся пустот на месторождении (табл. 1) определялся графоаналитическим методом, путем разработки параметрической 3D модели по разрезам и планам, составленным геолого-маркшейдерской службой рудника. 3D модель представляет собой геометрическую модель горнотехнического объекта с использованием параметров и соотношений между параметрами ее элементов (возможно произвольное изменение геометрической модели, не приводящее к необходимости повторных построений).

ТАБЛИЦА 1. Объемы пустот на Артемьевском руднике

Выработка по участку	Состояние пустот на 01.01.2016 г.		
	Всего, м ³	Технически необходимых	Готовых к ликвидации
1	148 533	62 553	85 979
2	200 763	61 559	139 205
3	143 790	46 080	97 710
4	170 378	105 655	64 723
По руднику	663 463	275 847	387 617

При решении задач, связанных с технологической и геомеханической оценкой состояния выработанного пространства, широко используются возможности численного моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород.

Одним из наиболее распространенных в рамках численных расчетов является метод конечных элементов [4]. Он позволяет учитывать многообразие сложившейся горнотехнической конструкции, пространственную ориентацию, изометрическую форму открытых обнажений, корректно задавать краевые условия в соответствии с параметрами исходного природного поля напряжений, действующего на месторождении, осуществлять детализацию геологического строения массива пород с выделением литологических разностей, принимать реальные физико-механические свойства пород в соответствии с их нарушенностью и категорией устойчивости, прогнозировать и оценивать механические процессы в массиве горных пород.

Принятый подход, основанный на трехмерном моделировании с получением максимально приближенной геомеханической картины к реальным условиям месторождения, позволил практически точно учесть всю геометрическую сложность и пространственное расположение накопленных пустот на четырех обрабатываемых участках с детализацией геологического строения массива пород и выделением литологических разностей.

МОДЕЛЬ ГЕОСРЕДЫ И КРАЕВЫЕ УСЛОВИЯ ЗАДАЧИ

Моделирование и расчеты НДС массива и его устойчивости выполнены по упругой механической модели поведения массива горных пород в объемной постановке задач с использованием программного обеспечения ANSYS.

Обоснованием для выбора модели упругой сплошной среды явилось следующее:

— отсутствие для большинства горных пород полной диаграммы деформирования обуславливает принятие ситуации, при которой возможно получение наибольших напряжений (наихудшей — предельной ситуации) посредством выбора линейно-деформируемой зависимости по закону Гука (т. е. для каждой породы или слоя используется упругая модель квазиизотропной сплошной среды);

— имеющиеся данные о физико-механических свойствах горных пород Артемьевского месторождения (табл. 2) и его строении свидетельствуют о том, что вмещающие породы разных морфологических типов не обладают в значительной степени реологическими свойствами, близки по вещественному составу, имеют выдержанное залегание и представлены в основном скальными хрупкими высокомодульными геологическими материалами с модулем Юнга в образце от 60 ГПа и более и соотношением пределов прочности на сжатие и растяжение более 8–10. Поскольку горные породы относятся к скальным высокомодульным материалам, разрушение которых происходит хрупко без видимой пластической деформации, корректное решение поставленной задачи можно получить в упругой постановке.

ТАБЛИЦА 2. Физико-механические свойства пород Артемьевского месторождения

Горные породы	Объемный вес, т/м ³ (от–до, ср.)	$\sigma_{сж}$	σ_p	C	φ , град	E , ГПа	μ
		МПа					
Порфириты андезито-дацитовые	2.61–2.8 2.70	56–165 107	7	13–27	28–34	49.0–88.0 69.1	0.27
Алевролиты	2.62–2.8 2.68	56–218 86	8	10–24	32	67.6–87.0 57.8	0.23
Альбитофиры кварцевые	2.58–2.7 2.64	60–181 119	10	12.5–32	31–36	64.0–84.0 71.4	0.22
Руда полиметаллическая сплошная	4.16–4.74 4.49	50–150 103	5	10.5–26.5	32	52.0–85.0 71.2	0.22
Твердеющая закладка	2.0	4.0–6.0	0.2–0.5	0.6–1.0	25	1.5	0.30

Примечание. $\sigma_{сж}$, σ_p — прочность пород на сжатие и растяжение; C — сцепление пород; φ — угол внутреннего трения пород; E — модуль упругости; μ — коэффициент Пуассона

В качестве основных граничных условий для математического моделирования НДС массива горных пород принято исходное поле напряжений, установленное инструментальными измерениями. Полученные результаты показали распределение действующих природных напряжений в рудно-породном поле месторождения близкое к гидростатическому (равнокомпонентному): $\sigma_x = 1.16\gamma H$ (действует вкрест простирания залежи); $\sigma_y = \gamma H$ (вертикальная компонента напряжений); $\sigma_z = 0.95\gamma H$ (действует по простиранию залежи), где H — глубина ведения горных работ, м; γ — удельный вес, МН/м³.

В 3D модели отдельные слои горных пород и рудные тела моделировались с осредненными деформационными и плотностными характеристиками (см. табл. 2).

На рис. 2 показана схема расчетной области R в виде параллелепипеда с параметрами $0 \leq x \leq L_x$, $0 \leq y \leq L_y$, $0 \leq z \leq L_z$. В параметрической модели реализована горнотехническая ситуация накопившихся пустот на четырех участках первой очереди Артемьевского рудника.

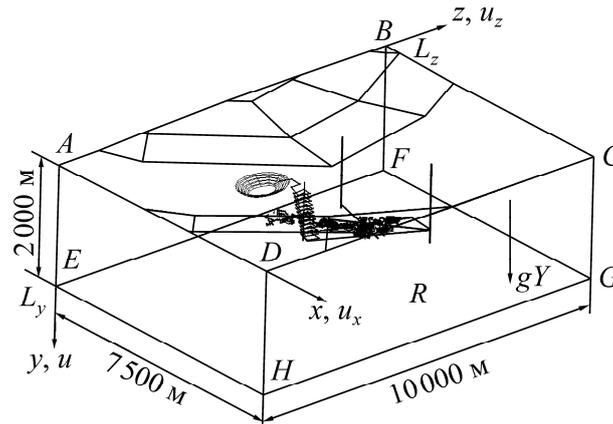


Рис. 2. Расчетная схема и основные параметры к определению НДС массива пород

Граничные условия задачи представляются как сжимающие усилия и ограничения нормальных перемещений на границах расчетной области (рис. 2):

$$\begin{aligned}
 ABCD: \quad & \sigma_y(0, z, x) = 0, \quad \tau_{xy}(0, z, x) = \tau_{zy}(0, z, x) = 0, \\
 EFGH: \quad & u_y(L_y, z, x) = 0, \quad \tau_{xy}(L_y, z, x) = \tau_{zy}(L_y, z, x) = 0, \\
 ABFE: \quad & \sigma_x(0, z, y) = 1.16 \sigma_y, \quad \tau_{yx}(0, z, y) = \tau_{zx}(0, z, y) = 0, \\
 DCGH: \quad & u_x(L_x, z, y) = 0, \quad \tau_{yx}(L_x, z, y) = \tau_{zx}(L_x, z, y) = 0, \\
 BCGF: \quad & \sigma_z(L_z, x, y) = 0.95 \sigma_y, \quad \tau_{yz}(L_z, x, y) = \tau_{xz}(L_z, x, y) = 0, \\
 ADHE: \quad & u_z(0, x, y) = 0, \quad \tau_{yz}(0, x, y) = \tau_{xz}(0, x, y) = 0,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где $\sigma_y, \sigma_x, \sigma_z$ и $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}$ — соответственно вертикальная и горизонтальные нормальные и касательные компоненты тензора напряжений (ось y направлена вертикально вниз); u_y, u_x, u_z — вертикальная и горизонтальные компоненты вектора перемещений.

В задачах влияние веса горных пород моделировалось объемной силой. Верхняя граница расчетной области соответствовала дневной поверхности — свободна от действия напряжений $\sigma_y = 0$. На контактах разнородных пород выполнялось условие жесткого сцепления (соблюдение непрерывности при переходе через линию контакта). Контуры открытых обнажений (камер, выработок, пустот) свободны от внешних нагрузок. Границы расчетной области удалены от образованного подземного пространства на расстояние, исключающее влияние на параметры исходного поля напряжений, задаваемые в параметрической модели (принцип Сен-Венана). Шаг дискретизации принят от 200 м на внешних контурах модели до 1 м при приближении к границам горных выработок и очистных пространств. При моделировании не учитывались обрушенные породы, которые вероятны в натуральных условиях, поскольку они повышают сохранность открытых обнажений за счет бокового подпора.

Результаты расчетов приводятся в виде прогнозируемых зон вероятных разрушений горных пород вокруг выработанного пространства и обнажений при отработке запасов первой очереди месторождения по критериям прочности [5–9] Кулона – Мора

$$K_y = \frac{2C \cos \varphi + (\sigma_1 + \sigma_3) \sin \varphi}{(\sigma_1 - \sigma_3)} \tag{2}$$

$$K_y = \frac{6C \cos \varphi - 2 \sin \varphi (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)}{(3 - \sin \varphi) \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}} \quad (3)$$

где K_y — коэффициент запаса устойчивости горных пород; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ — максимальные, промежуточные и минимальные главные напряжения, полученные из упругого решения, МПа. Значения K_y менее единицы характеризуют области вероятных разрушений пород.

На рис. 3, 4 представлены фрагменты четырех моделируемых участков, характеризующих всю геометрическую и пространственную сложность накопленных пустот.

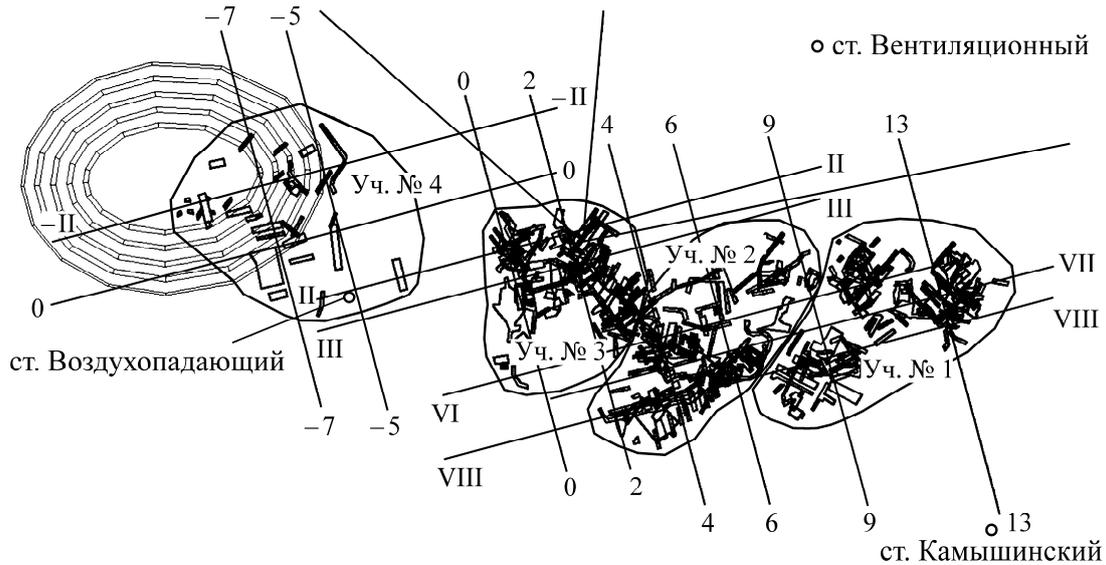


Рис. 3. Анализируемые вертикальные сечения в плане месторождения

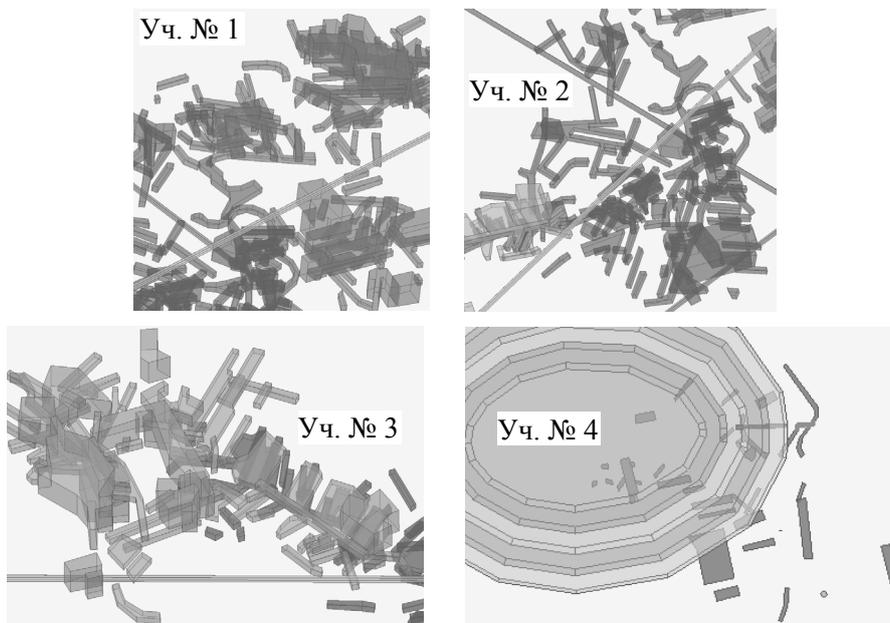


Рис. 4. Фрагменты объемов и пространственная ориентация накопившихся пустот

Граница влияния каждого из участков обозначена на рис. 3, глубина залегания от дневной поверхности составляет: уч. № 1 — 600–610 м (горизонт – 200–260 м); уч. № 2 — 530–570 м (горизонт – 125–190 м); уч. № 3 — 425–530 м (горизонт – 25–150 м); уч. № 4 — 310–360 м (горизонт + 30 + 80 м).

Построение наиболее вероятных зон разрушений горных пород осуществлялось по соответствующим каждому участку вертикальным сечениям: уч. № 1 — в створе геологических линий VI–VII, VII–VIII и 9, 13; уч. № 2 — в створе геологических линий VI, VII–VIII и 4, 6; уч. № 3 — в створе геологических линий II, III и 0, 2; уч. № 4 — в створе геологических линий — II, 0 и – 7, – 5.

Использование камерной и слоевой систем разработки на месторождении первоначально предполагало полную закладку выработанного пространства твердеющими смесями. Однако несоответствие производительности добычных работ с закладочными привело к тому, что часть камер не успевали заложить.

В задачах для камер и слоев, заложенных твердеющей смесью, предполагалось, что закладка несет определенную нагрузку и имеет сцепление с рудным телом и вмещающими породами. Последнее позволило считать ее низкомолекулярным упругим материалом, обеспечивающим сплошность отработанного пространства с окружающим массивом.

Отметим, что в реальных условиях массив горных пород характеризуется нарушенностью трещинами. Это обуславливает снижение в нем как прочностных, так и упругих свойств. Различие свойств горных пород в образце и массиве может достигать одного и более порядка. В практических расчетах переход от свойств в образце к характеристикам в нарушенном массиве осуществляется с помощью коэффициента структурного ослабления. Его значение характеризует степень уменьшения прочностных свойств в массиве по сравнению с образцом.

Анализ параметров трещиноватости пород на Артемьевском месторождении свидетельствует о том, что степень ослабления массива горных пород до 10–15 трещин/м соответствует изменению коэффициента структурного ослабления K_c от 0.3 (среднетрещиноватые породы) до 0.1 (сильнотрещиноватые). Это характеризует категорию изменчивости пород от средней устойчивости до неустойчивых. С учетом этих данных значения прочности пород на срез (сцепление) в расчетах K_y принимались соответственно в 3.5 и 10 раз меньшими, чем в образцах (см. табл. 2).

Использование при оценке устойчивости пород двух критериев обусловлено следующими причинами. С одной стороны, критерий Кулона–Мора позволяет рассмотреть наихудшую ситуацию путем исключения из расчета главного промежуточного напряжения σ_2 , что с позиции безопасности в условиях значительной изменчивости и неопределенности геолого-структурных особенностей и физико-механических свойств пород является мерой предельного состояния массива с определенным запасом надежности. С другой стороны, учет главного промежуточного напряжения σ_2 (критерий Друкера–Прагера) позволяет получить более точные результаты расчетов, что в условиях большого количества выработок и пустот важно для выбора способа их погашения и снижения риска неоправданных производственных затрат.

Фрагменты результатов моделирования по ряду характерных сечений выделенных участков с незаложенными камерами и слоями приведены на рис. 5, 6.

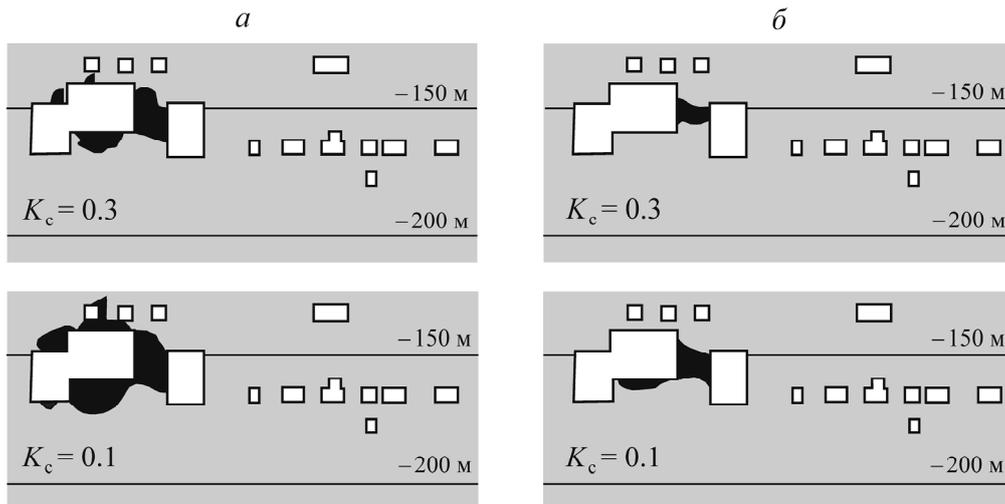


Рис. 5. Зоны возможных разрушений пород по линии VIII участка № 2: *а* — критерий Кулона–Мора; *б* — критерий Друкера–Прагера; ■ — вероятные участки разрушения горных пород

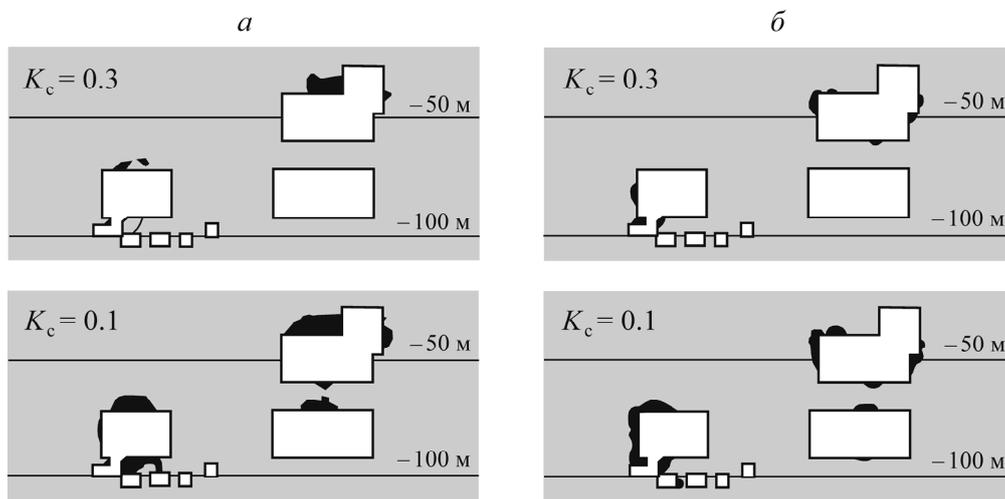


Рис. 6. Зоны возможных разрушений пород по линии 0 участка № 3: *а* — критерий Кулона–Мора; *б* — критерий Друкера–Прагера

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПУСТОТ НА СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕГО МАССИВА ПОРОД И ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ

На основе определения НДС массива в области накопившихся пустот месторождения выполнен расчет устойчивости горных пород вокруг открытых камер и выработок. Результаты расчетов $K_y < 1$ представлены в виде зон их возможных разрушений (см. рис. 5, 6).

Анализ результатов расчетов позволил установить области массива, в которых наблюдается потеря устойчивости горных пород:

— к потенциально опасным областям в сложившейся горнотехнической конструкции участков № 1–4 относятся различного рода целики между пустотами, образованными камерной выемкой. Существенное влияние на устойчивость обнажений отмечено в открытых камерах при высоте от 18 до 25 м и более с расстоянием между ними менее 15 м. Размеры вероятных зон разрушений пород в целиках находятся в прямой зависимости от степени нарушенности масси-

ва. Так, в районе сильнотрещиноватых массивов ($K_c = 0.1$) не только поперечное сечение целиков полностью находится в зоне потери устойчивости пород, но также кровля и почва пустот (камер). В данном случае следует ожидать развития процессов самообрушения пород в выработанное пространство. В массивах горных пород средней нарушенности ($K_c = 0.3$) зоны возможных разрушений вокруг пустот камерной выемки носят локальный характер;

— в наиболее неблагоприятных условиях находятся выработки, в том числе очистные заходки, подработанные и надработанные камерной выемкой, которые расположены на расстоянии менее 7–10 м относительно контура открытых обнажений. Данные выработки попадают под влияние пустот и, как правило, подвержены разрушению;

— обнажения вмещающих горных пород очистных выработок, в том числе слоевых незаложенных заходов, находящиеся на удалении от открытых камер более чем на 20–30 м, с большой вероятностью сохраняют устойчивость;

— пустоты, сформированные слоевой системой разработки, вследствие их незначительных объемов находятся в большинстве своем в устойчивом состоянии;

— за счет действия в рудно-породном массиве Артемьевского рудника природного поля напряжений, близкого к равнокомпонентному (гидростатическому) распределению, области вероятных разрушений пород (по критерию Кулона–Мора) практически в равной степени наблюдаются по всему контуру значительных по размерам открытых камер (поперечное сечение более 180 м^2);

— сложная пространственная ориентация накопившихся пустот как в плане, так и в вертикальных разрезах обуславливает отсутствие явно выраженной закономерности формирования областей с возможными обрушениями пород. Последние в зависимости от размеров пустот с разной степенью интенсивности формируются в кровле, боках и почве выработанных пространств;

— отработанные участки месторождения, сложенные породами средней устойчивости, не представляют опасности для подготовительных выработок ведения горных работ при доработке запасов первой очереди и введении в эксплуатацию второй очереди Артемьевского месторождения. На весьма нарушенных участках ($K_c = 0.1$) влияние пустот на эксплуатацию горных выработок носит локальный и ограниченный характер (не более 10% подготовительных выработок, попавших в область отработки);

— локальный характер разрушений горных пород вокруг обнажений с областью распространения не более 30 м свидетельствует об отсутствии их влияния на пройденные подготовительные выработки для отработки запасов второй очереди месторождения.

На основе параметрической 3D модели состояния выработанного пространства на четырех отработанных участках первой очереди Артемьевского рудника и установленных прогнозных областей разрушений массива горных пород составлена таблица с объемами пустот, подлежащих закладке или рекомендуемых к изоляции (ликвидации) при доработке запасов первой очереди для безопасной последующей выемки месторождения (табл. 3).

Основным критерием разделения объемов пустот и рекомендуемых из них к изоляции является возможность сохранения безопасной эксплуатации наклонного съезда, выработок транспортного и вентиляционно-закладочного горизонтов, сопряжений, а также различного рода камер технологического назначения (ремонтные, складские и др.). Это позволит исключить развитие процессов разрушения пород и минимизировать отрицательное влияние горного давления на действующие горные выработки.

ТАБЛИЦА 3. Распределение объемов пустот первой очереди Артемьевского месторождения, подлежащих закладке и изоляции

Участки	Объем готовых пустот, рекомендуемых, м ³	
	к закладке	к изоляции
1	17 695	70 617
2	23 409	110 910
3	12 462	84 049
4	—	60 041
Неучтенные с недозакладом	≈ 8 434	—
Итого по первой очереди отработки	62 000	325 617
Итого пустот, м ³	387 617	

К подлежащим закладке пустотам отнесены открытые камеры и часть нарезных выработок, имеющих открытый доступ к выработанному пространству, а также открытые камеры и очистные слои, находящиеся на значительном удалении от капитальных и других действующих выработок, подходные пути (нарезные выработки) к которым заложены закладкой.

Таким образом, при отработке первой очереди Артемьевского месторождения рекомендуется к изоляции 325 617 м³ пустот, которые не окажут заметного влияния на устойчивость горно-капитальных подготовительных выработок и безопасность доработки запасов первой и выемки второй очереди месторождения. Реализация предложенных рекомендаций позволит предприятию получить экономию денежных средств в объеме более 1 млн долл.

ВЫВОДЫ

Разработана параметрическая 3D модель сложившегося состояния выработанного пространства на четырех участках первой очереди Артемьевского месторождения.

Для безопасного погашения остаточных запасов первой и отработки участка второй очереди месторождения необходимо произвести закладку выработанного пространства нарезных и очистных выработок твердеющими смесями в объеме 62 тыс. м³. При этом достигается изоляция 325,6 м³ пустот, сформированных камерной и слоевой выемками.

Установлено, что обширные зоны вероятных обрушений горных пород в выработанное пространство открытых камер наблюдаются при их высоте от 18 м и более с расстоянием между камерами менее 15 м.

Подработанные и надработанные камерной выемкой нарезные (очистные слоевые) выработки, расположенные на расстоянии менее 7–10 м от выработанного пространства, находятся в предельном состоянии и с большей вероятностью будут подвержены разрушению. В наиболее неблагоприятных условиях находятся подготовительно-нарезные выработки, расположенные на расстоянии менее 20–30 м от пустот камерной выемки, в кровле и боках которых отмечаются зоны разрушений горных пород.

Обосновано отсутствие в необходимости закладки части пустот камерной и слоевой выемок, которые не оказывают влияния как на действующие выработки, так и на область массива второй очереди отработки месторождения.

Под влиянием фактора времени, взрывных работ и естественной нарушенности устойчивость горных пород может снижаться. В этих условиях необходимо вести постоянный мониторинг за состоянием выработок, целиков и обнажений при наличии доступа к ним.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Битимбаев М. Ж., Крупник Л. А., Шапошник Ю. Н.** Теория и практика закладочных работ при разработке месторождений полезных ископаемых. — Алматы: ТОО РПИК “Daup”, 2012. — 624 с.
2. **Шапошник Ю. Н.** Выбор рациональных схем закладочных работ при отработке второй очереди Артемьевского месторождения // Материалы науч. Всерос. конф. “Проблемы развития горных наук и горнодобывающей промышленности”. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2016. — С. 48–52.
3. **Крупник Л. А., Шапошник Ю. Н., Шапошник С. Н., Турсунбаева А. К.** Технология закладочных работ на горнодобывающих предприятиях Республики Казахстан // ФТПРПИ. — 2013. — № 1. — С. 82–90.
4. **Зенкевич О.** Метод конечных элементов в технике. — М.: Мир, 1975. — 543 с.
5. **Казикаев Д. М.** Геомеханика подземной разработки руд. — М.: МГУ, 2009. — 542 с.
6. **Болтенгаген И. Л., Кореньков Э. Н., Попов С. Н., Фрейдин А. М.** Обоснование параметров сплошной камерной системы разработки с управляемым обрушением кровли // ФТПРПИ. — 1997. — № 1.
7. **Литвинский Г. Г.** Аналитическая теория прочности горных пород и массивов. — Донецк: Норд-Пресс, 2008. — 207 с.
8. **Drucker D. C., Prager W.** Soil mechanics and plastic analysis or limit design. Q. Appl. Math., 1952, 10(2). — P. 157–165.
9. **Друккер Д., Прагер В.** Механика грунтов и пластический анализ или предельное проектирование // Механика. Новое в зарубежной науке. Вып. 2. Определяющие законы механики грунтов. — М.: Мир, 1975. — С. 166–177.

Поступила в редакцию 17/XI 2016