Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LVIII, вып. 1, 1969 г.

ВЫЕМКА БАРЬЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ ПРИ ОТРАБОТКЕ РУДНЫХ ПОЛЕЙ СИСТЕМАМИ С ОБРУШЕНИЕМ

Н. З. Галаев

При разработке горизонтальных или пологопадающих рудных месторождений для улучшения условий проветривания, предотвращения проникновения вод и газов, локализации обрушений и других целей бывает необходимо оставлять барьерные целики, которые разделяют рудное тело на отдельные поля. Эти целики при значительных запасах руды в них иногда извлекаются после отработки смежных полей. Такие временные барьерные целики следует рассматривать как части рудных полей, подготовка и отработка которых должна быть тесно увязана с выемкой основных запасов. Размеры целиков, порядок их извлечения, а также система разработки должны выбираться с учетом распределения опорного давления и несущей способности целиков *. И только соблюдая эти условия, можно обеспечить безопасность работ и достаточную полноту извлечения полезного ископаемого.

Вышесказанное подтверждается примером отработки временных барьерных целиков на руднике Заполярный Норильского комбината. Здесь в северном крыле рудника 7-бис были оставлены барьерные целики для отделения нижних газоносных горизонтов с положительными температурами от верхних (201 *м* и выше), расположенных в зоне многолетней мерзлоты

* Н. З. Галаев. Распределение опорного давления при различных направлениях выемки (для условий нижнего блока рудника Заполярного). Зап. ЛГИ, т. XVIII, вып. 1, 1963.

(см. таблицу и рис. 1). В настоящее время целики извлекаются по частям массовыми взрывами.

Рудное поле в контуре целиков отрабатывалось системой принудительного этажного обрушения с одностадийной выемкой в направлении от разрезной щели, образованной вдоль линии *4*, к флангам. Руда отбивалась скважинами, пробуренными из подэтажных выработок; принудительной посадки кровли не производилось.

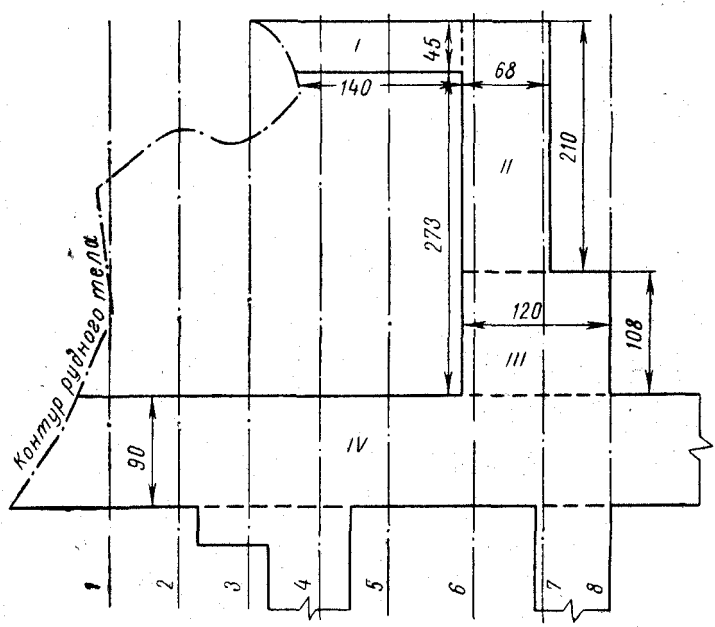


Рис. 1. Схема расположения барьерных целиков в северном крыле рудника 7-бис:

I — северный целик; *II* — узкая часть восточного целика; *III* — широкая часть восточного целика; *IV* — охранный целик. *1—8* — маркшейдерские линии (через 56 *м*)

Барьерные целики сложены весьма крепкими трещиноватыми габбро-диабазами. Непосредственная кровля представлена безрудными габбро-диабазами, выше которых залегает мощная толща эффузивных пород, прикрытая у поверхности незначительным слоем обломочных пород и наносов. Средняя

мощность пород (включая высоту целиков) около 250 *м*. Подстилают рудное тело лабрадоровые порфириты и габбро-диабазы.

Таблица 1

Размеры временных барьерных целиков

Целик	Размеры целика, *м*		$\frac{b}{h}$	Угол падения, *град*
	ширина *b*	высота *h*		
Северный между линиями 5 и 6	45	20—40	2,2—1,0	От 14 до 46; падает с севера на юг
Восточный:				
узкая часть	68	25—30	2,7—2,0	10—18
широкая часть	120	15—19	8,0—6,0	10—14

Породы и руды в образце обладают высокой прочностью (временное сопротивление сжатию габбро-диабазов изменяется от 1400 до 2500 *кГ/см*^{2}), но так как вмещающие породы и рудное тело интенсивно нарушены трещинами различных направлений (различают от 5 до 8 систем трещин), то устойчивость массива значительно снижается.

Целики на ранее отработанных полях рудников 7 и 9 при отношении ширины целика к высоте $b/h = 0{,}75 \div 1{,}75$ разрушались при равномерно распределенной нагрузке 80—150 *кГ/см*^{2}, а сопротивление сдвигу массива при обрушении консолей составляло примерно 8—15 *кГ/см*^{2}.

Имея в виду, что отношение b/h для барьерных целиков увеличивается, можно предполагать возрастание их несущей способности. Приблизительные средние значения пределов прочности на сжатие массива пород северного целика будут 85—190, узкой части восточного — 170—250 и широкой части — 500—700 *кГ/см*^{2}.

Так как ширина и высота целиков в разных частях непостоянны, их устойчивость и несущая способность оцениваются распределением опорного давления в зависимости от соотношения b/h.

Исследования распределения опорного давления проводились на объемных моделях из эквивалентных и оптически

активных материалов *. Объемные модели из эквивалентных материалов изготовлялись в масштабе 1 : 350 и 1 : 200 из смеси кварцевого песка и парафина. Прочность материала на сжатие составляла, соответственно, 0,25—0,4 и 0,5—0,7 *кГ/см²*. Такой материал отвечал условиям подобия натуре, потому что получаемые явления при моделировании (пролеты обрушения, раздавливание целиков и др.) соответствовали аналогичным показателям на практике. Давление замерялось датчиками механического ** и индукционного типов.

Оптические объемные модели из эпоксидной смолы, выполненные в масштабе 1 : 5000, 1 : 2000 и 1 : 1000, нагружались в центрифуге в соответствии с расчетом. В зависимости от размера модели изучалось распределение напряжений на отдельные целики или части их. Моделирование проводилось для различных случаев выемки. Исследовались последовательная отработка целиков и выемка сплошным фронтом, с предварительным образованием компенсационных камер и без них.

На моделях из эквивалентных материалов, после того как фронт выемки рудного поля приближался к границам целиков, обрушения пород над выработанным пространством до дневной поверхности не происходило (что соответственно натуре), поэтому значительно возрастало опорное давление на целики. По сравнению с первоначальным давлением, определенным по формуле $p = \gamma H$ (где γ — средний объемный вес пород и H — глубина разработки), оно увеличивалось на северный целик в 2,5—3,0, на узкую часть восточного целика — в 2,5—2,3 и на широкую — в 1,3 раза (рис. 2).

На рис. 3 по модели в масштабе 1 : 350 показаны результаты замеров опорного давления на восточный барьерный целик при подходе к нему очистных работ (*а*) и после выемки трех лент шириной 10 *м* по всей длине целика (соответственно *б, в, г*). При выемке третьей ленты, когда ширина целика стала приближаться к 45—50 *м*, начали активно проявляться деформации целиков в виде образования трещин и скалывания отдельных участков; при ширине 40 *м* узкая часть восточного целика вместе с северным была раздавлена. Отсюда следует вывод, что выемку восточного целика сплошным фронтом можно продолжать, уменьшая его ширину до 45—50 *м* и, подготовив заранее, взорвать одновременно с северным целиком.

---

* В моделировании принимал участие горн. инж. А. А. Янишевский.

** Конструкция датчиков механического типа предложена проф. А. А. Борисовым и канд. техн. наук И. П. Толстуновым.

При моделировании последовательной выемки целиков выяснилось, что предварительная отработка северного целика увеличивает концентрацию напряжений на узкую часть восточного целика и приводит к раздавливанию его выступающей части.

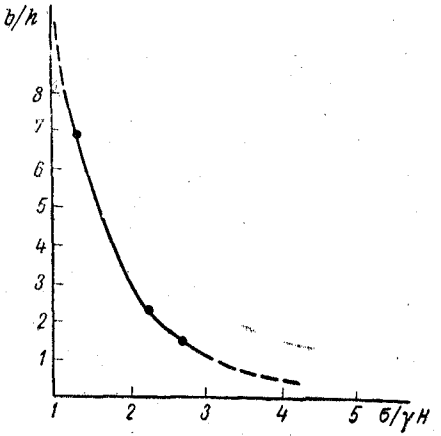


Рис. 2. Зависимость концентрации напряжений $\sigma/\gamma H$ от соотношения b/h
σ — действующее напряжение

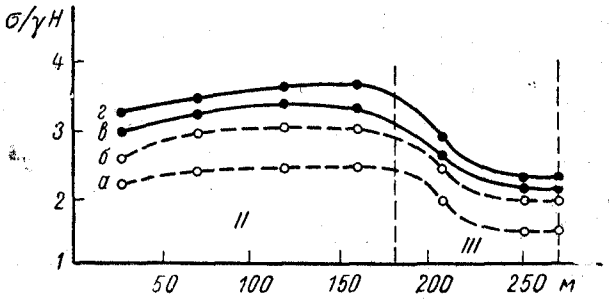


Рис. 3. Распределение опорного давления вдоль узкой и широкой частей восточного барьерного целика

На рис. 4 показано распределение опорного давления на восточный целик до (*а*) и после (*б*) выемки северного барьерного целика и при последовательной отработке отдельных участков восточного целика с севера на юг (*в, г, д*). Концентрация напряжений на выступающий восточный целик при наличии зависающих консолей вышележащих пород доходила до 4,0—4,5γH, что было разрушительным для него на значительной длине вплоть до широкой части. На широкую часть восточного целика давление возрастало менее интенсивно до 1,5—2,5 γH (110—190 *кГ/см*^{2}), что не будет опасным из-за значительного запаса прочности.

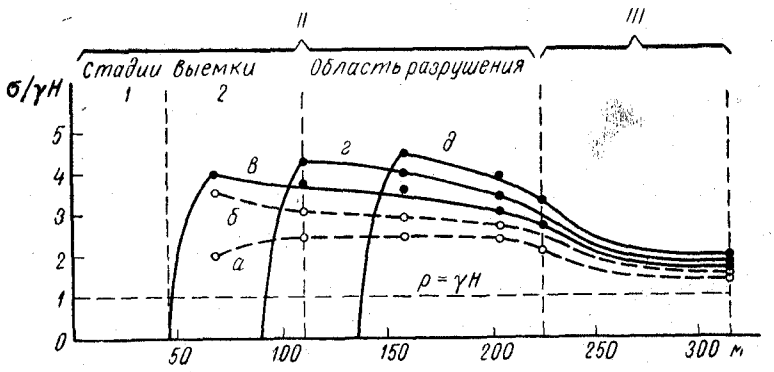


Рис. 4. Распределение опорного давления на узкую и широкую части восточного целика последовательной его отработке с севера на юг

Предварительная выемка восточного целика при оставлении северного нетронутым заканчивалась разрушением последнего, к тому же такой порядок выемки связан с большими потерями руды.

Как показывают исследования в ИГД им. А. А. Скочинского * и практика рудников, наибольшей способностью обладают широкие целики, когда отношение $b/h \geqslant 4 \div 5$. Напряженное состояние в ядре целика в этом случае приближается к гидростатическому, материал целика работает в условиях всестороннего сжатия.

---

* А. М. Ильштейн и др. Методы расчета целиков и потолочин камер рудных месторождений. Наука, 1964.

Нами были выполнены модели при отработке целиков шириной 100—120 *м*, когда b/h изменялось от 4 до 8. Такие широкие целики вынимались сплошным фронтом (с севера на юг) одностадийно или отдельными панелями с компенсационными камерами, с принудительной отрезкой кровли и без нее. Опыты показали, что максимум опорного давления до начала выемки целика достигал $1{,}5—1{,}6\gamma H$ и затем при последовательной выемке панелей повышался в 2—3 раза, но целик, обладая высокой несущей способностью, не разрушался. Выемка проходила при установившемся шаге обрушения без особых осложнений. Лишь задержка обрушения консоли пород резко увеличивала опорное давление (до $4\gamma H$). Это повышение, как правило, предшествовало обрушению пород, которое снижало опорное давление на 40—50%.

Образование компенсационных камер в целиках приводило к концентрации напряжений в междукамерных целиках. Моделирование методом фотоупругости показало, что коэффициент концентрации возрастает с уменьшением ширины целика:

Ширина междукамерного целика, *м*	30	25	20	15	10
Коэффициент концентрации напряжений	3,6—4,3	3,8—5,0	4,3—5,7	5,0—6,2	5,7—6,7

В условиях Норильского месторождения образование компенсационных камер в целиках проектных размеров (45 и 68 *м*) приводит к разрушению междукамерных целиков. Поэтому двухстадийная их выемка практически невозможна.

Расчеты барьерных целиков по методике ИГД им. Скочинского и ВНИМИ [Ильштейн и др., 1964] показали, что их ширина в состоянии предельного равновесия (коэффициент запаса прочности равен единице) для данных условий должна находиться при различных b/h в пределах 36—45 *м*. Это подтверждают полученные при моделировании результаты.

Выводы

1. Задержка обрушения налегающих пород приводит к значительным концентрациям опорного давления на временные барьерные целики, оставляемые по контуру рудного поля.

2. Концентрация напряжений в барьерных целиках зависит от соотношения b/h (где b — ширина и h — высота целика), с увеличением которого концентрация напряжений на целик уменьшается.

3. Для условий трещиноватых руд Норильского месторождения барьерные целики при соотношении $b/h = 1 \div 2{,}5$ испытывают концентрацию напряжений, превышающую первоначальные в 2,5—3,0 раза. Выемка таких целиков связана с большими трудностями. Наиболее рациональным способом отработки целиков шириной 40—45 *м* следует считать массовое взрывание, для подготовки которого пройти выработки и выполнить буровые работы необходимо до окончания выемки рудного поля. Широкие целики ($b/h \geqslant 4 \div 5$) испытывают сравнительно небольшие концентрации напряжений (в наших опытах они равнялись $1{,}3—1{,}6\gamma H$), что позволяет вынимать их секциями с одно- или двухстадийной отбойкой при условии планомерного обрушения пород.

4. Выемка временных барьерных целиков всегда связана с увеличением проявлений горного давления, которые приводят к повышению потерь руды и удорожанию работ. Поэтому при проектировании отработки месторождения необходимо избегать их оставления, за исключением крайне необходимых случаев, заранее предусмотрев способ извлечения.