

УДК 622.342

А.М. Павлов, Ю.М. Семенов, Л.И. Сосновский

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ
УСТОЙЧИВЫХ ЦЕЛИКОВ И ОБНАЖЕНИЙ КАМЕР
ПРИ РАЗРАБОТКЕ НАКЛОННЫХ ЖИЛ
В КРИОГЕННЫХ ЗОНАХ В УСЛОВИЯХ
ИРОКИНДИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Проведены исследования по оценке природных и техногенных напряжений в криогенных зонах. На Ирокиндинском месторождении обрабатываются наклонные жилы малой мощности в криогенных зонах. При разработке жил возникает проблема определения размеров устойчивых целиков и кровли камер, особенно при выемке запасов в переходных зонах мерзлых пород в талье. Определены фактические природные напряжения в криогенных зонах и на основе этих данных разработаны методики расчета напряжений в целиках и кровле камер. Методики учитывают снижение устойчивости при оттайке мерзлых пород. Представилась возможность определять рациональные параметры ленточных целиков и отказаться от внутриблоковых целиков, что существенно снижает потери руды и металла в недрах. Основные выводы и рекомендации приведенных результатов исследований могут быть использованы на других золоторудных, полиметаллических, железорудных месторождениях, обрабатываемых в криогенных зонах.

Ключевые слова: золоторудное месторождение, криогенные зоны, рудное тело, природные и техногенные напряжения, оттайка мерзлых пород.

На руднике Ирокинда обрабатываются наклонные жилы малой мощности в условиях многолетней мерзлоты горного массива. Разработка жил ведется, в основном, сплошной системой разработки [3]. Месторождение имеет сложное геологическое строение и тектоническую нарушенность, крайне неравномерное распределение запасов в недрах, ограниченные размеры очистного пространства, многообразие условий по устойчивости руд и вмещающих пород. На устойчивость горных пород влияют физико-механические свойства руды и вмещающих пород, изменчивость формы рельефа кровли, угол падения жилы, тектоническая нарушенность, наличие многолетней мерзлоты и др. Температуры пород изменяются от минус 5 °С до положительных. На глубинах 200–400 м наблюдаются переходные зоны мерзлых пород к тальм. Пространственное положение этих зон было установлено путем точечных замеров температур воздуха и горных пород электронными термометрами с последующим составлением на планах горных работ изотерм воздуха горного массива.

В горном массиве выделено два типа переходных зон. Переходная зона I образуется в летний период из-за вентиляции выработок теплым воздухом. Граница этой зоны от устья штолен распространяется до 160 м и ограничивается изотермой воздуха минус 1 °С. Переходная зона II существует постоянно независимо от сезонных изменений температур. Границы этой зоны определяются изотермами горных пород от минус 1 °С до плюс 0,5 °С.

**Данные натуральных измерений напряжений массивов горных пород
Ирокиндинского месторождения**

Напряжение	Глубина разработки	Теоретическое напряжение (по гипотезе А. Гейма), МПа	Результаты натуральных измерений напряжений горных массивов			
			Число единичных определений напряжений	Напряжение, МПа	Отношение продольного напряжения к вертикальному	Отношение поперечного напряжения к вертикальному
Жила № 35 (многолетнемерзлые породы)						
Вертикальное	200	-5,6	48	-7,4±0,9		
Продольное		-5,6	24	-9,3±1,4	1,3	1,2
Поперечное		-5,6	24	-8,6±1,8		
Жила № 30 (переходная зона мерзлых пород в талые)						
Вертикальное	250	-6,6	32	-6,9		
Продольное		-6,6	16	-6,6	1,0	1,3
Поперечное		-6,6	16	-9,3		
Жила Центрально-Тулуннская (переходная зона мерзлых пород в талые)						
Вертикальное	250	-6,6	40	-6,3		
Продольное		-6,6	16	-5,2	0,8	2,0
Поперечное		-6,6	16	-12,4		
Среднее значение					0,9	1,7

В переходных зонах существует «вялая» мерзлота, в которой цементирующий фактор мерзлоты снижается и уменьшается устойчивость пород.

Натурными измерениями напряжений пород методом шелевой разгрузки по методике ИГД УрО РАН [1] установлено, что в условиях многолетней мерзлоты горный массив представляет собой однородную упругую среду, в которой действуют гидростатические напряжения. В условиях переходной зоны напряжения горного массива изменяются. Максимальные напряжения действуют горизонтально вкрест простирания рудной залежи. Они больше вертикальных напряжений в 1,7 раза. Горизонтальные напряжения, действующие по простиранию рудных тел практически равны вертикальным (таблица).

Разработаны методики определения параметров устойчивых целиков и обнажений кровли камер с учетом установленных гравитационно-тектонических напряжений, снижения коэффициента структурного ослабления пород при частичной их оттайке, изменения необходимого коэффициента запаса прочности и допустимых напряжений в массиве пород при различном влиянии мерзлоты.

Расчеты напряжений в целиках и кровле камер производились по методике [2, 3]. Условие устойчивости имеет следующий вид

$$\sigma_{\text{ц}} = K_{\text{вц}} \sigma_{\text{в}} + K_{\text{гц}} \sigma_{\text{г}} \leq \sigma_{\text{доп}} K_{\text{ф}};$$

$$\sigma_{\text{к}} = \sigma_{\text{в}} K_{\text{вк}} + \sigma_{\text{г}} K_{\text{гк}} \leq \sigma_{\text{доп}}. \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{ц}}$ – напряжения в подштрековом целике, МПа; $K_{\text{вц}}$, $K_{\text{гц}}$ – коэффициенты концентрации напряжений от действия вертикальных и горизонтальных единичных нагрузок в подштрековом целике; $\sigma_{\text{в}}$, $\sigma_{\text{г}}$ – напряжения в нетронутом

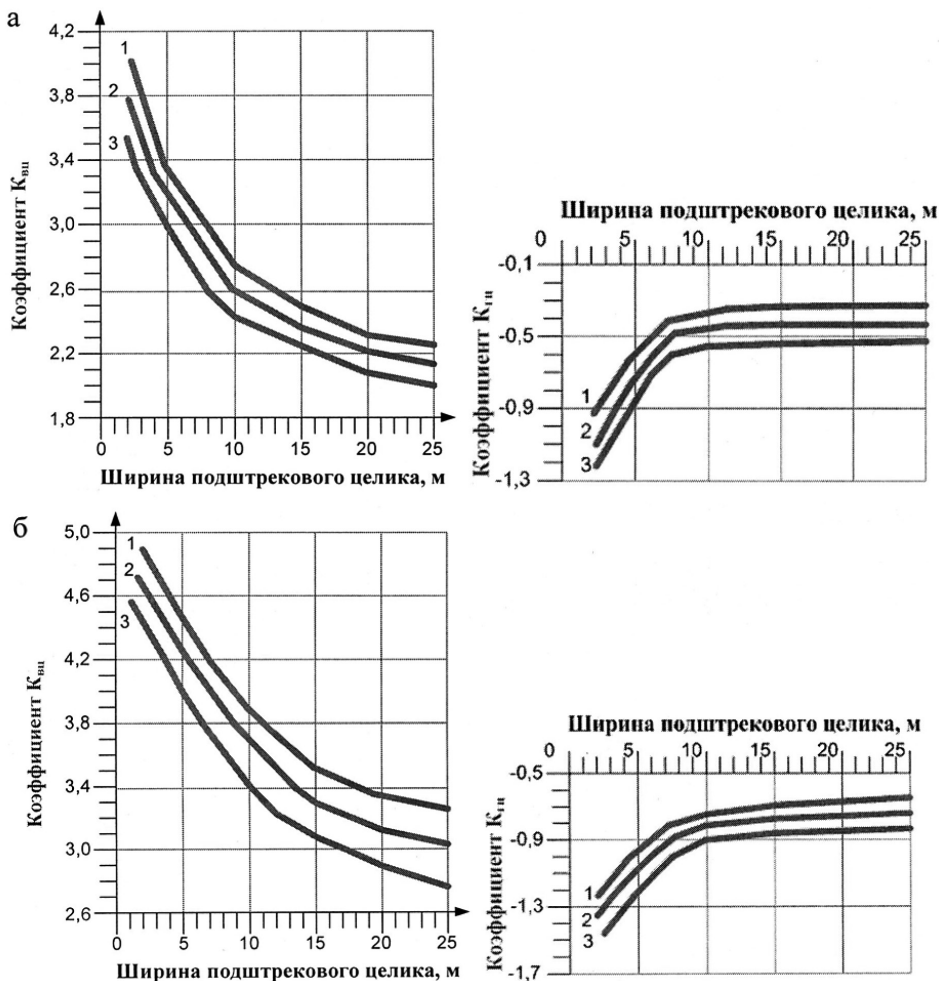


Рис. 1. Номограммы коэффициентов концентрации напряжений $K_{н}$ и $K_{т}$ в подштрековом целике при отработке одного этажа (а) и двух этажей (б) на клонной жилы: 1–3 – при мощности рудного тела соответственно 1, 3, 5 м

массиве (первоначальные), действующие соответственно вертикально и горизонтально, МПа; $\sigma_{доп}$ – предел прочности при сжатии или растяжении горных пород в массиве, МПа; K_{ϕ} – коэффициент, учитывающий геометрические размеры целика (коэффициент Церна); σ_k – напряжения в кровле камеры, МПа; $K_{вк}$, $K_{гк}$ – коэффициенты концентрации напряжений от действия вертикальных и горизонтальных единичных нагрузок в кровле камеры.

Коэффициенты концентрации напряжений принимаем по номограммам (рис. 1, 2), которые определены на основе оптического моделирования по методике ИГДУрО РАН [1, 2].

Целики и кровля камеры считались устойчивыми, если расчетные напряжения были меньше допустимых. Допустимые напряжения определялись по формуле:

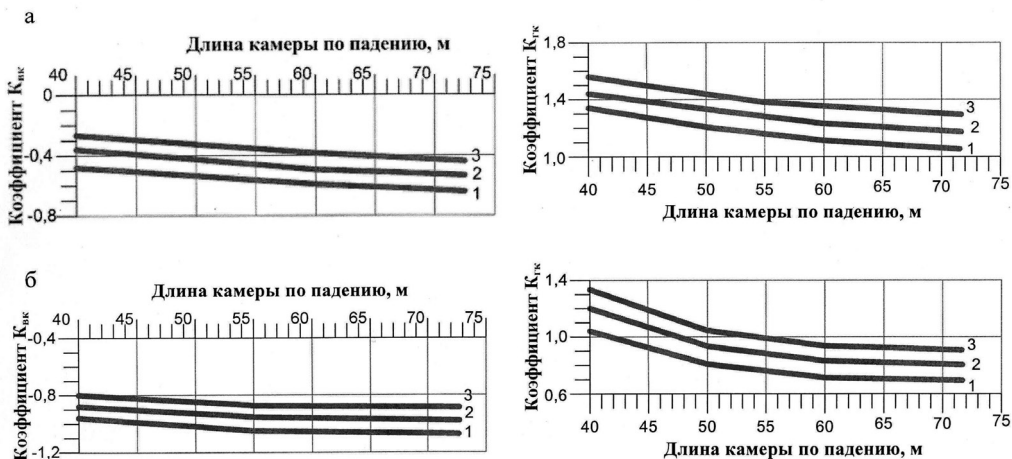


Рис. 2. Номограммы коэффициентов концентрации напряжений $K_{вк}$ и $K_{гк}$ в кровле камеры при обработке одного этажа (а) и двух этажей (б) наклонной жилы: 1–3 – при мощности рудного тела соответственно 1, 3, 5 м

$$\sigma_{доп} = \frac{\sigma_{сж}^{об}}{K_3}, \quad (2)$$

где $\sigma_{доп}$ – предел прочности на сжатие горных пород в образце, МПа; K_3 – коэффициент запаса прочности.

Коэффициент запаса прочности для целиков составляет $K_л$

$$K_3 = \frac{K_{дл}}{K_c \cdot K_\phi}, \quad (3)$$

где $K_{дл}$ – коэффициент длительной прочности; K_c – коэффициент структурного ослабления; K_ϕ – коэффициент, учитывающий геометрические размеры целика (коэффициент Церна).

Коэффициент запаса прочности для кровли камер определится

$$K_3 = \frac{K_{дл}}{K_c}, \quad (4)$$

Коэффициент структурного ослабления K_c рекомендуется производить на основе методики ВНИМИ [4] и дифференцированного поправочного коэффициента, учитывающего влияние отрицательных температур пород из выражения

$$K_c = \frac{1}{0,53(l / l_{бл} + 1,75)} + 0,315 + \Delta, \quad (5)$$

где l – линейный размер, оцениваемого на прочность участка массива, м; $l_{бл}$ – линейный размер структурного блока, м; Δ – коэффициент, учитывающий влияние отрицательных температур.

Значения коэффициента Δ приняты для мерзлых пород равным 0,4, переходной зоны I – 0,2, переходной зоны II – 0,1, талых пород – 0.

Коэффициент $K_{дл}$ принимается по методике [5].

Выявлено, что в породах крепостью $f = 5-6$ значения коэффициента K_3 изменяется в широких пределах от 1,3 (время отработки $t = 2$ года) до 6,9 ($t = 10$ лет). Коэффициент запаса прочности в мерзлых породах значительно меньше, чем в переходных зонах и талых породах. При отработке блока в пределах 2-4 лет коэффициент K_3 изменяется всего на 21-24%, при увеличении времени до 10 лет он возрастает в 3 раза.

Установлены зависимости понижения допустимых напряжений в массиве пород при уменьшении влияния мерзлоты. В мерзлых породах допустимые напряжения выше, чем в переходных зонах в талых породах. С увеличением срока отработки блоков как в мерзлых, так и в талых породах допустимые напряжения в целиках и кровле камер резко снижаются, а следовательно возрастает необходимость увеличения размеров целиков.

Таким образом, рациональное время отработки блоков составляет 2-4 года. При увеличении срока до 10 лет устойчивость целиков и кровли камер снижается более, чем в три раза.

Анализ расчетных напряжений в междуэтажных целиках и в кровле камер позволяет отмечать следующее. При отработке жил в многолетнемерзлых породах целики менее нагружены, чем при выемке запасов в переходной зоне (рис. 3). Однако, допустимые напряжение в них в 1,5 раза выше. Целики шириной 3 м как в талых, так и в переходной зоне будут устойчивы. Кровля очистных камер имеет сжимающие напряжения меньше допустимых и поэтому тоже характеризуется устойчивым состоянием как в мерзлых породах, так и при их частичной оттайке (рис. 4).

Для оценки достоверности предлагаемых методик были проведены натурные измерения напряжений в трех подштрековых целиках и на пяти участках в кровле камер жилы Центрально-Тулунская на глубине 200-250 м. Напря-

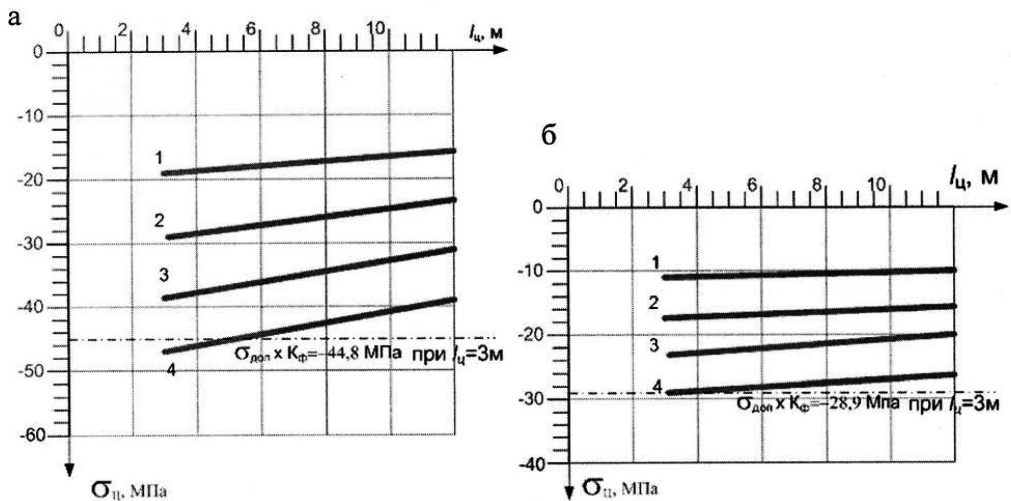


Рис. 3. Графики напряжений в междуэтажных целиках в мерзлых породах (а) и в переходной зоне к талым (б) в зависимости от ширины междуэтажного целика 1-4, соответственно для глубины разработки 200, 300, 400, 500 м

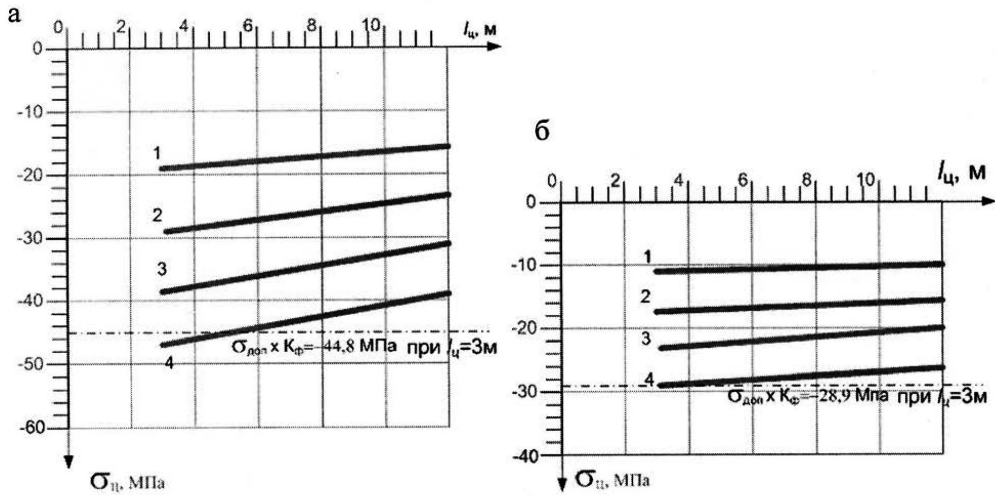


Рис. 4. Графики напряжений в кровле очистной камеры в мерзлых породах (а) и в переходной зоне к талым (б) в зависимости от длины камеры 1–4, соответственно для глубины разработки 200, 300, 400, 500 м

жения в междуэтажных целиках составляют минус $7,0 \pm 2,6$ МПа. Расчетные напряжения составляют в междуэтажном целике шириной 6 м (надштрековый целик 3 м, подштрековый целик 3 м) составляют $-9,0 \div -14,0$ МПа. Напряжения в кровле выработанного пространства составляют минус $4,3 \pm 1,8$ МПа. Расчетные напряжения составляют примерно $-2,3 \div -5,0$ МПа. Измеренные и расчетные напряжения практически равны. Отклонения их данных не превышают погрешности измерений напряжений.

Таким образом, применяемые физические и математические модели соответствуют реальному состоянию массива горных пород, и поэтому предлагаемые методики определения размеров устойчивых целиков и обнажений камер можно использовать в горной практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влох Н.П. Управление горным давлением на подземных рудниках. – М.: Недра, 1994. – 208 с.
2. Неганов В.П., Коваленко В.И., Сосновский Л.И. и др. Технология разработки золоторудных месторождений / Под ред. В.П. Неганова. – М.: Недра, 1995. – 336 с.
3. Сосновский Л.И., Павлов А.М., Филонюк В.А. и др. Управление геомеханическими процессами при разработке наклонных жил в условиях многолетней мерзлоты // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 11. – С. 77–83.
4. Ким Д.Н. Влияние структуры на сдвиговую прочность массива и определение расчетных механических характеристик / Горное давление, сдвигание горных пород и методика маркшейдерских работ: Сб. научн. тр. – Л.: ВНИМИ, 1969. – Вып. 72. – С. 568–585.
5. Руководство по определению безопасных объемов пустот, выбору и расчету изолирующих сооружений при подземной разработке рудных месторождений Киргизии. – Фрунзе: Илим, 1976. – 50 с. **ИЛИА**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Павлов А.М. – кандидат технических наук, зам. директора по горным работам,
e-mail: buryatzoloto@nordgold.com

Семенов Ю.М. – начальник технического отдела,
ОАО «Бурятзолото»;

Сосновский Л.И. – доктор технических наук, профессор,
Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет,
e-mail: info@istu.edu.

UDC 622.342

EVALUATION OF PARAMETERS OF STABLE PILLARS AND ROOM ROOFS IN UNDERLAY LODE MINING IN CRYOGENIC ZONES IN TERMS OF THE IROKINDINSKY GOLD DEPOSIT

Pavlov A.M., Candidate of Technical Sciences, Deputy Director of Mining Department,
e-mail: buryatzoloto@nordgold.com

Semenov Yu.M., Head of Technical Department,
JSC «Buryatzoloto»;

Sosnovskii L.I., Doctor of Technical Sciences, Professor,
National Research Irkutsk State Technical University, e-mail: info@istu.edu.

Evaluative research into natural and mining-induced stresses in cryogenic rocks is carried out. The Irokindinsky Mine works out thin underlay lodes in cryogenic conditions. During mining it is required to estimate dimensions of stable pillars and room roofs, particularly in the transition zones between frozen and thawed rocks. The actual natural stresses in cryogenic zones are determined, and the procedures to calculate stresses in pillars and room roofs are developed on this basis. The procedures account for instability of frozen rocks under thawing. It appears that it is possible to find rational parameters of chain pillars and to do without intermediate pillars, which greatly reduces ore and metal loss. The basic conclusions and recommendations made based on the research findings can be used in other gold, complex and iron ore deposits under mining in cryogenic zones.

Key words: gold deposit, cryogenic zones, ore body, natural and induced stresses, frozen rock thawing.

REFERENCES

1. Vlokh N.P. *Upravlenie gornym davleniem na podzemnykh rudnikakh* (Ground control in underground mines), Moscow, Nedra, 1994, 208 p.

2. Neganov V.P., Kovalenko V.I., Sosnovskii L.I. *Tekhnologiya razrabotki zolotorudnykh mestorozhdenii*, pod red. V.P. Neganova (Underground gold mining technology, Neganov V.P. (Ed.)), Moscow, Nedra, 1995, 336 p.

3. Sosnovskii L.I., Pavlov A.M., Filonyuk V.A. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, 2006, no 11, pp. 77–83.

4. Kim D.N. *Gornoe davlenie, sdvizhenie gornykh porod i metodika marksheiderskikh rabot: Sb. nauchn. tr.* (Rock pressure, rock movement and surveying procedure: Collection of scientific papers), Leningrad, VNIMI, 1969, issue 72, pp. 568–585.

5. *Rukovodstvo po opredeleniyu bezopasnykh ob'emov pustot, vyboru i raschetu izoliruyushchikh sooruzhenii pri podzemnoi razrabotke rudnykh mestorozhdenii Kirgizii* (Guidance on safe volume determination for voids, and on selection and calculation of insulating structures in underground ore mining in Kirghizia), Frunze, Ilim, 1976, 50 p.

