УДК 622.272

А.М. Павлов, Д.С. Васильев

ПРОГНОЗ УСТОЙЧИВОСТИ ОБНАЖЕНИЙ ПОРОД КОНЕВИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Особенностью Коневинского месторождения является наличие зоны локализации участков интенсивно проявленной трещиноватости в приконтактовых зонах рудных тел, представленной тремя системами трещин: две субвертикальные и одна пологая, которые тесно сопряжены с параллельными ей зонами рассланцевания. Концентрация трещин носит дискретный характер. Массив горных пород до горизонта +2115 м находится в криолитозоне. Месторождение отработано до горизонта +2165 м. Исследования и проведенные наблюдения в период разработки месторождения позволяют сделать вывод, что руды и породы при обнажении находятся в среднеустойчивом состоянии и в местах концентрации трещин склонен к вывалам. Разубоживание руды, при системе с магазинированием, достигло 67%, что негативно повлияло на рентабельность производства, в результате чего была сделана его приостановка и консервация. На сегодня, для дальнейшей разработки месторождения и выбора геотехнологии, позволяющей повысить качество добываемой руды, крайне важно знать прогноз устойчивости обнажений талых пород на глубинах ниже 300 м. Прогноз выполнен на основе изученности трещиноватости массива и проведенных замеров напряжений методом щелевой разгрузки, а также математического моделирования.
Ключевые слова: крутопадающее тонкое золоторудное месторождение, трещиноватость, устойчивость обнажений массива, напряженное состояние массива, криолитозона, геотехнология.

Месторождение Коневинское, разрабатываемое подземным способом, находится в Восточных Саянах и представлено крутопадающими (75°) тонкими жилообразными рудными телами в зоне рассланцованных березитов, залегающие в березитизированных гранодиоритах. Отработка балансовых запасов месторождения произведена до горизонта +2165 м, по которому проходит граница распространения многолетней мерзлоты.

Балансовые запасы месторождения вскрыты штольнями и транспортным съездом с поверхности. Добыча руды ведется системой с магазинированием руды при высоте этажа – 50 м. Общее разубоживание руды составляет 67%.

ISSN 0236–1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 4. С. 166–172.
© 2017. А.М. Павлов, Д.С. Васильев.

Геомеханические условия разработки запасов месторождения на глубине ведения горных работ более 300 м, где массив находится в состоянии переходной и талой криолитозонах [4] не исследованы, исходя из этого актуальна задача – осуществить прогноз поведения руд и вмещающих пород при обнажениях в дальнейшей эксплуатации месторождения.

С этой целью было проанализировано тектоника и трещиноватость массива горных пород и его напряженно-деформированное состояние на двух последних нижних горизонтах +2215÷2165 м.

Для анализа были использованы материалы геологической документации подземных горных выработок, которые позволяют увидеть и отобразить интенсивность тектонической нарушенности трещинами, как поперечными, пересекающими выработку полностью поперек или по диагонали, так и по простиранию – вдоль выработки.

Изучение геологических материалов показало, что наиболее проявлена система с разрывными нарушениями северо-западного Сайлагского простирания, с которыми и связано золотое оруденение месторождения. Морфологически зоны выражены рассланцеванием пород, сопровождающейся их березитизацией и окварцеванием. Горно-геологической особенностью месторождения является наличие зоны локализации участков интенсивного проявления трещиноватости в приконтактовых зонах рудных тел, представленной тремя системами трещин: две субвертикальные и одна пологая (рис. 1). Крутопадающие трещины

Рис. 1. Вмещающие породы с системой трещин

(частота 3–5 на 1 м) прямолинейные, протяженные, выполнены хлоритовым и карбонат-серицит-хлоритовым материалом. На плоскостях трещин образуются зеркала скольжения с притертым рыхлым материалом. Поперечная, пологая трещиноватость пород тесно сопряжена с продольной трещиноватостью.

Анализ трещиноватости выявил, что концентрация трещин носит дискретный характер, обладает фрактальными свойствами (рис. 2).

Этот факт подтвержден при эксплуатации, который показал, что в очистных блоках, в местах локализации концентрации трещин, массив вмещающих пород неустойчив, где и происходили вывала. В результате проведенного исследования причин превышения нормативного очистного пространства более 1 м, было выявлено, что отслоение вмещающих пород происходит блоками, отдельностями по трещинам от воздействия взрыва после продвижения забоя на 2–3 м, являясь уже вторичным разубоживанием руды. Отслоения не поддерживаются креплением и попадают в замагазинированную руду, повышая ее уровень засорения.

Анализ замеров мощности вторичных отслоений боковых пород в очистных блоках показал, что она в среднем по месторождению достигла 0,3 м. Например, объем пород вторичного разубоживания за отработанный 2013 г. составил 15 894 т, а площадь отслоений, исходя из средней мощности 0,3 м, составила 19 622 м^2 или 60% отработанной площади очистных блоков, что согласуется с характером расположения локализованных участков с повышенной концентрацией трещин.

Сотрудниками ИРНИТУ, методом щелевой разгрузки [2, 6] по методике института горного дела УрО РАН [2], были измерены величины природных напряжений массива горных пород. Глубина горных работ на участках замеров на горизонтах составила соответственно до 300 м. Величины напряжений составили:

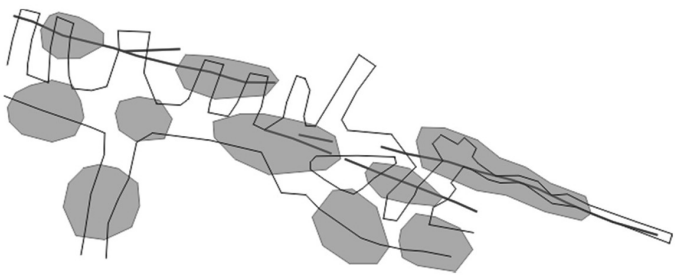

Рис. 2. Распределение участков с концентрацией трещин

$$\sigma_в = -8{,}1 \pm 0{,}7 \text{ МПа}; \sigma_{пр} = -11{,}9 \pm 2{,}0 \text{ МПа};$$

$$\sigma_п = -12{,}8 \pm 1{,}8 \text{ МПа},$$

которые аппроксимируются формулами:

$$\sigma_в = -\gamma H, \sigma_{пр} = -1{,}46\gamma H, \sigma_п = -1{,}22\gamma H. \quad (1)$$

Допустимые напряжения в очистной камере на сжатие и растяжение горных пород определяются из известного выражения:

$$\sigma_{доп} = \frac{\sigma^{об} \cdot K_c}{K_{дл}}, \quad (2)$$

где $\sigma_{об}$ – предел прочности на сжатие или растяжение горных пород в образце, МПа; $K_с$ – коэффициент структурного ослабления; $K_{дл}$ – коэффициент длительной прочности.

Коэффициент $K_с$ определялся по методике ВНИМИ на основе выражения, уточненного А.М. Павловым для условий криолитозоны [4].

$$K_c = \frac{1}{0{,}53\left(l / l_{бл} + 1{,}75\right)} + 0{,}315 + \Delta, \quad (3)$$

где l – линейный размер оцениваемого на прочность участка массива, м; $l_{бл}$ – линейный размер структурного блока, м; Δ – поправка с учетом влияния температурного фактора.

Исходя температурного состояния Коневинского месторождения, определена поправка Δ, которая принята 0,3 для пород с отрицательной температурой менее минус 1°С (горизонты +2215÷2165 м), а для условий при температуре пород от 0 до минус 1 °С (горизонт +2115) будет соответствовать 0,1. При положительных температурах массива горных пород поправка равна нулю.

С учетом этого $K_с$ будет равен 0,95, 0,75 и 0,65 соответственно температурному состоянию пород.

Согласно методики расчета, разработанной Институтом физики и механики горных пород АН Киргизской ССР [4, 5], $K_{дл}$ = = 1,15 (для отработки запасов блока менее одного года).

Исходя из этого, были получены предельно допустимые значения напряжений в массиве горных пород:

- при температуре -(1–3) °С $\sigma_{сж}^{доп} = -115$ МПа;
- при температуре до -1 °С $\sigma_{сж}^{доп} = -91$ МПа;
- при температуре до 0 °С $\sigma_{сж}^{доп} = -79$ МПа;
- при температуре -(1–3) °С $\sigma_{р}^{доп} = 14{,}8$ МПа;
- при температуре до -1 °С $\sigma_{р}^{доп} = 11{,}7$ МПа;
- при температуре до 0 °С $\sigma_{р}^{доп} = 10{,}1$ МПа.

Рсчетные напряжения в стенках очистного блока определили из выражения, изходя условия устойчивости стенки камеры на основе методики В.Ф. Трумбачева, Г.А. Каткова, Д.И. Беккера, Н.П. Влоха, Л.И. Сосновского [1, 3]

$$\sigma_c = \left(k_{вс} \cdot \sigma_в + k_{гс} \cdot \sigma_г\right) \cdot k_{об} \leq \sigma_{доп} \qquad (4)$$

где $\sigma_с$ – напряжения в стенке камеры, МПа; $k_{вс}$, $k_{гс}$ – коэффициенты концентрации напряжений от действия вертикальных и горизонтальных единичных нагрузок в стенке камеры, которые принимаем по номограммам Л.И. Сосновского [3]; $\sigma_в$, $\sigma_г$ – природные напряжения, действующие соответственно вертикально и горизонтально, МПа; $k_{об}$ – коэффициент перехода от плоской к объемной геомеханической задаче [2].

Расчеты показывают, что напряжения боковых пород при отработке запасов блока на глубинах до 600 м не превышают допустимых значений.

На основе полученных параметров физико-технических свойств пород было проведено моделирование техногенных напряжений в целиках и стенках очистных блоков методом конечных элементов с помощью программного комплекса FEM (ИГД УрО РАН) [4, 5].

Математическое моделирование показало, что при отработке запасов блока в пределах одного этажа напряжение в подштрековом целике на глубинах 200–600 м не превышают допустимых значений ($\sigma_{сж}^{доп}$ = -79 МПа). Напряжение в боковых породах очистного блока также не превышают допустимых $\sigma_р^{доп}$ = 10,1 МПа (рис. 3).

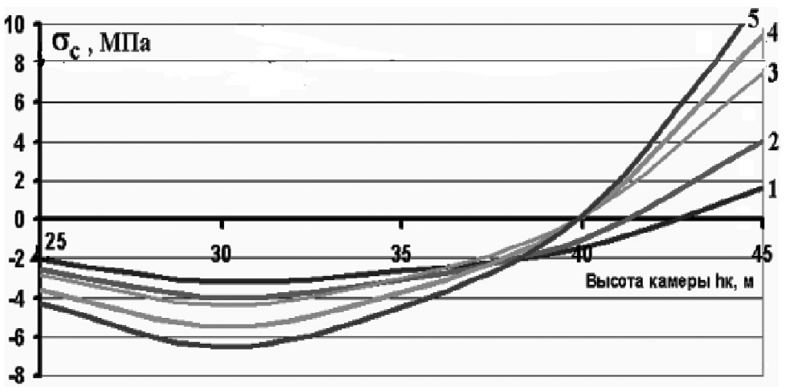

Рис. 3. График техногенных напряжений в стенке очистной камеры: 1, 2, 3, 4, 5 – соответственно на глубинах 200 м, 300 м, 400 м, 500 м, 600 *м*

Проведенное обследование обнаженных поверхностей отработанных блоков показало, что борта и оставленные целики сохраняют свою устойчивость при отработке запасов в пределах этажа, при ширине блока до 50 м и отрицательной температуре пород (глубина отработки до 300 м). Отслоение пород с боков очистной камеры происходит по трещинам в результате сейсмического воздействия взрывных работ, так как не наблюдается превышений предельно допустимых напряжений. Эти факты доказывают правильность выбранной методики расчетов. Исходя из этого, можно предположить, что прогноз устойчивости обнажений массива горных пород при ведении очистной выемки на глубинах свыше 300 м, также является достоверным.

Отсюда вывод: при отработке запасов рудного тела на глубинах до 600 м не прогнозируется превышение напряжений в боковых породах и целиках выше допустимых. В местах повышенной трещиноватости массива пород, при сложенной направленности трещин, будет происходить более интенсивное разрушение бортов из-за сейсмического воздействия взрывных работ в талой и переходной зоне, а это значит, что применение в дальнейшем системы разработки с магазинированием руды будет не эффективно из-за снижения качества добываемой руды по причине повышенного разубоживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Влох Н. П.* Управление горным давлением на подземных рудниках. – М.: Недра, 1994. – 208 с.

2. *Зубков А. В.* Геомеханика и геотехнология. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 335 с.

3. *Неганов В. П.* Технология разработки золоторудных месторождений / Под ред. В. П. Неганова. – М.: Недра, 1995. – 336 с.

4. *Павлов А. М.* Совершенствование технологии подземной разработки жильных месторождений золота. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013. – 128 с.

5. *Павлов А. М.*, *Филонюк В. А.*, *Сосновская Е. Л.*, *Сосновский Л. И.* Геометрические модели естественного напряженного состояния массива горных пород золоторудных месторождений // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2010. – № 5. – С. 41–45.

6. *Рыльникова М. В.*, *Зотеев О. В.* Геомеханика. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2003. – 240 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Павлов Александр Митрофанович[1] – доктор технических наук, профессор, e-mail: pavlov-gp@rambler.ru,
Васильев Денис Сергеевич[1] – аспирант, e-mail: go_gor@istu.edu,
[1] Иркутский национальный исследовательский технический университет.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 4, pp. 166–172.

UDC 622.272

A.M. Pavlov, D.S. Vasil'ev

FORECAST OF STABILITY OUTCROPS KONEVINSKOGO DEPOSIT

Konevinskoe gold bodies is located in the highlands of the Eastern Sayan at the level below the horizon +2415 m and developed by underground methods. Presented thin steeply dipping vein type ore bodies northeast strike. Quartz veins thin 1–3 cm, are beresites ore zone average power of 0.4 m, and that is an ore body. Contact tectonic veins with an incidence angle 75°. The ore body is filled with tectonic breaks, that cross dikes. Ore mine field is distributed in columns. Enclosing rocks are represented by massive beresites and berezitizirovannymi granodiorites. A special feature is the presence of deposit the localization zone areas intense manifestation of fracturing in the marginal zones of the ore bodies, represented by three joint systems: two subvertical and one shallow, which is closely interfaced with parallel zones of shearing it.

The concentration of the cracks is discrete in nature. An array of rocks to the horizon +2115 m located in the permafrost zone. The deposit is worked out to the horizon +2165 m. Research and monitoring conducted during field development allow us to conclude that the ores and rocks at the outcrop are sredneustoychivom condition and cracks in places of concentration tends to fall out. Dilution of ore at magazinirovaniem system, has reached 67%, which had a negative impact on profitability, resulting in his suspension and conservation has been made. Today, for the further development of the field and the selection of geotechnology, which allows to improve the quality of extracted ore, it is important to know the forecast of stability of melt rock outcrops at depths of less than 300 m. The forecast is based on scrutiny of fracture and an array of measurements of stress by unloading slit, and mathematical modeling.

Key words: steeply-dipping, thin gold deposit, fracture, stability of the outcrops of the massif, the stress state of the array, permafrost, geotechnology.

AUTHORS

Pavlov A.M.[1], Doctor of Technical Sciences, Professor,
e-mail: pavlov-gp@rambler.ru,
Vasil'ev D.S.[1], Graduate Student, e-mail: go_gor@istu.edu,
[1] Irkutsk National Research Technical University,
664074, Irkutsk, Russia.

REFERENCES

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

2. Zubkov A. V. *Geomekhanika i geotekhnologiya* (Geomechanics and geotechnology), Ekaterinburg, UrO RAN, 2001, 335 p.

3. Neganov V. P. *Tekhnologiya razrabotki zolotorudnykh mestorozhdeniy*. Pod red. V. P. Neganova (Technology development of gold deposits. Neganov V. P. (Ed.)), Moscow, Nedra, 1995, 336 p.

4. Pavlov A. M. *Sovershenstvovanie tekhnologii podzemnoy razrabotki zhil'nykh mestorozhdeniy zolota* (Improving the technology of underground mining of vein gold deposits), Irkutsk, Izd-vo IrGTU, 2013, 128 p.

5. Pavlov A. M., Filonyuk V. A., Sosnovskaya E. L., Sosnovskiy L. I. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*. 2010, no 5, pp. 41–45.

6. Ryl'nikova M. V., Zoteev O. V. *Geomekhanika* (Geomechanics), Moscow, Izdatel'skiy dom «Ruda i metally», 2003, 240 p.