

УДК 622.273.2:551.345

Феклистов Юрий Георгиевич

кандидат технических наук, доцент,
заведующий лабораторией геодинамики
и горного давления,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: feklistov@igduran.ru

Голотвин Алексей Дмитриевич

кандидат технических наук,
соисполнитель лаборатории
геодинамики и горного давления,
Институт горного дела УрО РАН,
e-mail: algol3003@mail.ru

Широков Максим Анатольевич

инженер ПТО,
ЗАО Чукотская горно-геологическая
компания, рудник «Купол»,
e-mail: max-589@yandex.ru

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВЫРАБОТОК
В КРИОЗОНЕ НА ПРИМЕРЕ
РУДНИКА «КУПОЛ»***Аннотация:*

В статье рассмотрены горно-геологические и горнотехнические условия разработки месторождения «Купол» в зоне многолетнемерзлых пород. Выполнена общая оценка состояния выработок на руднике. На основе аналитических решений определены размеры и конфигурации зон предельного состояния пород вокруг выработок с учетом анизотропии прочности массива. Предложены рекомендации по контролю состояния и поддержанию выработок на руднике «Купол» и в сходных условиях других рудников.

Ключевые слова: многолетнемерзлые породы, область предельного состояния, крепь выработок, близповерхностные месторождения, прочность пород

Feklistov Yury G.

candidate of technical sciences,
assistant professor,
the head of the laboratory of geo-dynamics
and mine pressure,
The Institute of mining UB RAS,
620075, Yekaterinburg, 58, Mamin-Sibiryak st.
e-mail: feklistov@igduran.ru

Golotvin Alexey D.

candidate of technical sciences,
The Institute of mining UB RAS
e-mail: algol3003@mail.ru

Shirokov Maxim A.

engineer of the ITA CJSC the Chukotsk mining
and geological company, “the Kupol” mine
e-mail: max-589@yandex.ru

**ESTIMATION THE WORKINGS' STATE IN
KRYOZONE, THE “KUPOL” MINE BEING
AS AN EXAMPLE***Abstract:*

Mining-geological and mining conditions of the “Kupol”: deposit development in the zone of permafrost rocks are considered in the article. Overall estimation of the workings' state in the mine is performed. In terms of analytical solutions dimensions and configuration of the zones of limiting state of rocks are determined. Recommendations on both monitoring the state and workings supporting in the “Kupol” mine and in similar conditions of other mines are proposed.

Key words: permafrost rocks, the area of limiting state, workings support, near-surface deposits, the rocks strength

Месторождение «Купол» находится на Дальнем Востоке России на территории Анадырского района Чукотского автономного округа. Ближайший населенный пункт г. Билибино расположен на 300 км северо-западнее [1]. Месторождение «Купол» является типичным близповерхностным золото-серебряным месторождением. Его рудные тела находятся в толще многолетнемерзлых пород. Вечная мерзлота достигает глубин 400 – 600 м, оттаивание пород отмечается при глубине 250 м. Средняя температура в шахте –4° С. Водоприитоки подземных вод незначительны.

Основная система жил простирается с севера на юг и круто падает к востоку под углом 75 – 90°. Рудные тела на месторождении представлены жилами, системами прожилков и вмещающими их оруденелыми породами. Мощность рудных тел варьирует от 0,2 до 20 м, простираение от 50 до 2000 м, распространение оруденения на глубину по

Прочность пород в массиве σ_m определена на основе лабораторных испытаний временной прочности пород на одноосное сжатие σ_0 и коэффициента структурного ослабления $k_{стр}\sigma_m = k_{стр}\sigma_0$. Коэффициент структурного ослабления $k_{стр}$ определен на основе анализа известных исследований (ВНИМИ, ИГД УрО РАН, а также СНИП и др.). Для месторождения «Купол» коэффициент в зависимости от средних размеров отдельных с учетом прочности лабораторных образцов пород принят 0,25.

Средняя расчетная временная прочность пород на одноосное сжатие в массиве σ_{m0} для месторождения «Купол» в мерзлом состоянии σ_{m0-} – 27 МПа, в талом состоянии σ_{m0+} – 16 МПа. Длительная расчетная прочность пород на одноосное сжатие в массиве $\sigma_{m\infty}$ в мерзлом состоянии $\sigma_{m\infty-}$ – 14 МПа, в талом состоянии $\sigma_{m\infty+}$ – 8 МПа.

Анизотропия прочностных свойств массива месторождения «Купол» рассмотрена исходя из пространственной характеристики поверхностей нарушенностей (нарушения, расслоения, трещины), приведенных на рис. 2.

В соответствии с теорией прочности анизотропных сред, сформулированной Г. Н. Кузнецовым [2], определены диаграммы прочности для условий месторождения «Купол». При этом сцепление по контактам c' принято близким к минимальному и равному $0,01c_0$ (c_0 – сцепление пород по испытаниям лабораторных образцов).

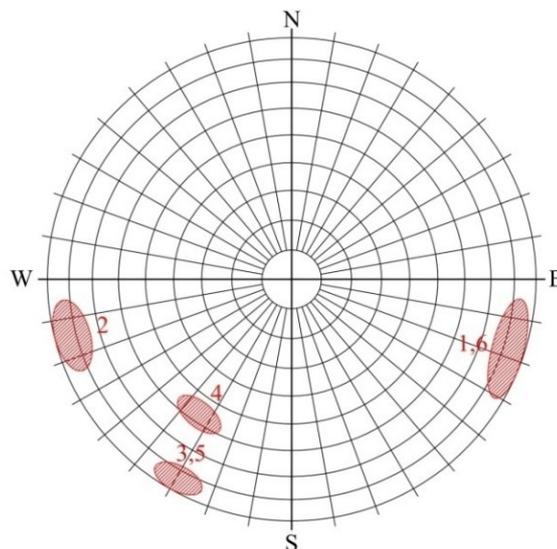


Рис. 2 – Диаграмма основных систем нарушенностей на месторождении «Купол» (нарушения, расслоения, трещины; угол падения/азимут падения):

- 1 – главная жила ($85^\circ/100^\circ$); 2 – расслоения ($S_1 85^\circ/255^\circ$);
- 3, 4 – трещины ($J_1 86^\circ/214^\circ$, $J_2 57^\circ/214^\circ$);
- 5, 6 – сбросы, сдвиги ($F_1 88^\circ/206^\circ$, $F_2 88^\circ/118^\circ$)

На рис. 3 приведены круговые диаграммы прочностных параметров массива в вертикальной плоскости, перпендикулярной поверхностям ослабления: одинарных с углом падения, близким к $\beta_1=85^\circ$ (поверхности 1, 2, 6 на рис. 2) и двойных согласно залегающих с углами $\beta_1=85^\circ$ и $\beta_2=57^\circ$ (поверхности 3, 5, 4 на рис. 2). Прочность пород массива, обусловленная свойствами контактов и зависящая от пространственной ориентации рассматриваемой точки (угол φ), представлена в виде тангенциальной прочности $\sigma_{m\theta}$ на контуре условной круглой выработки в зависимости от направления (угол φ). Тангенциальная прочность приведена в долях от прочности массива на одноосное сжатие σ_m на диаграммах как $\sigma_{m\theta}/\sigma_m$ (σ_m – в данном случае прочность массива на одноосное сжатие с учетом геокриологического и временного факторов). Там же приведен условный синус угла внутреннего трения $\sin\rho'_{усл}$ пород в массиве, обусловленный контактами.

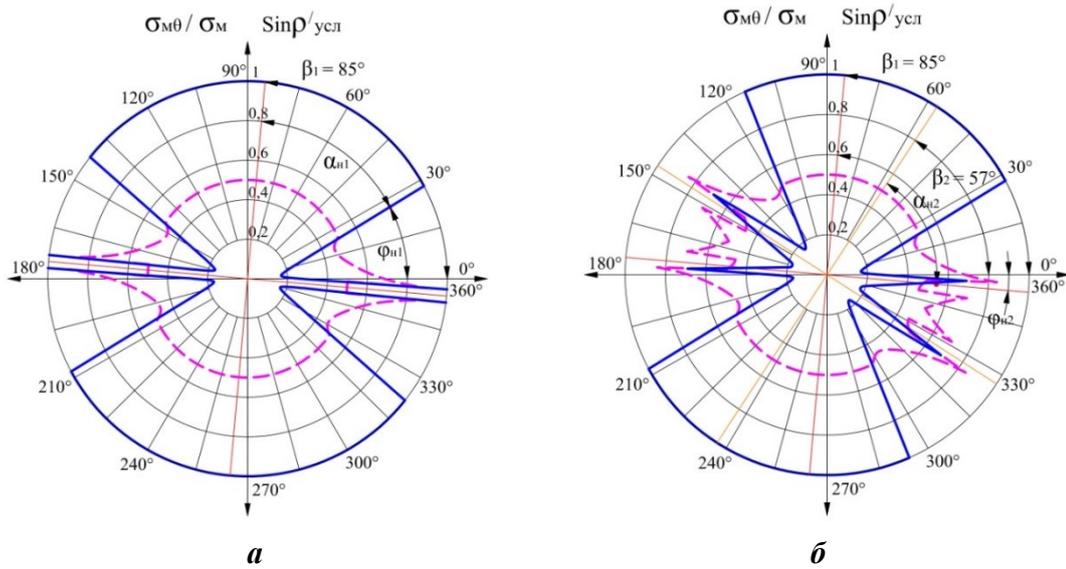


Рис. 3 – Круговые диаграммы прочностных параметров массива в вертикальной плоскости, перпендикулярной поверхностям ослабления:
 а – одинарных с углом падения, близким к $\beta_1=85^\circ$ (поверхности 1, 2, 6 на рис. 2);
 б – двойных согласно залегающих с углами $\beta_1=85^\circ$ и $\beta_2=57^\circ$ (поверхности 3, 5, 4 на рис. 2);
 сплошные линии – относительная прочность на сжатие в окружном направлении $\sigma_{m\theta}/\sigma_m$;
 пунктирные линии – условный синус угла внутреннего трения $\sin\rho'/\sin\rho$;
 прочностные свойства контактов: $c' = 0,01c_0 = 0,0029\sigma_0 = 0,012\sigma_m$,
 угол трения по контактам $\rho' = \rho = 30^\circ$

При расположении продольной оси выработки под углом δ к направлению простирания систем нарушенностей прочность массива на одноосное сжатие $\sigma_{m\theta\delta}$ и условный синус угла внутреннего трения $\sin\rho'/\sin\rho_{\delta}$ в зависимости угла δ определялись следующим образом:

$$\sigma_{m\theta\delta} = \sigma_{m\theta} \cos^2\delta + \sigma_m \sin^2\delta; \quad (1)$$

$$\sin\rho'/\sin\rho_{\delta} = \sin\rho'/\sin\rho \cos^2\delta + \sin\rho \sin^2\delta. \quad (2)$$

На рис. 4. приведены диаграммы прочностных параметров для вертикальных сечений, расположенных под углом 45° к простиранию систем нарушенностей.

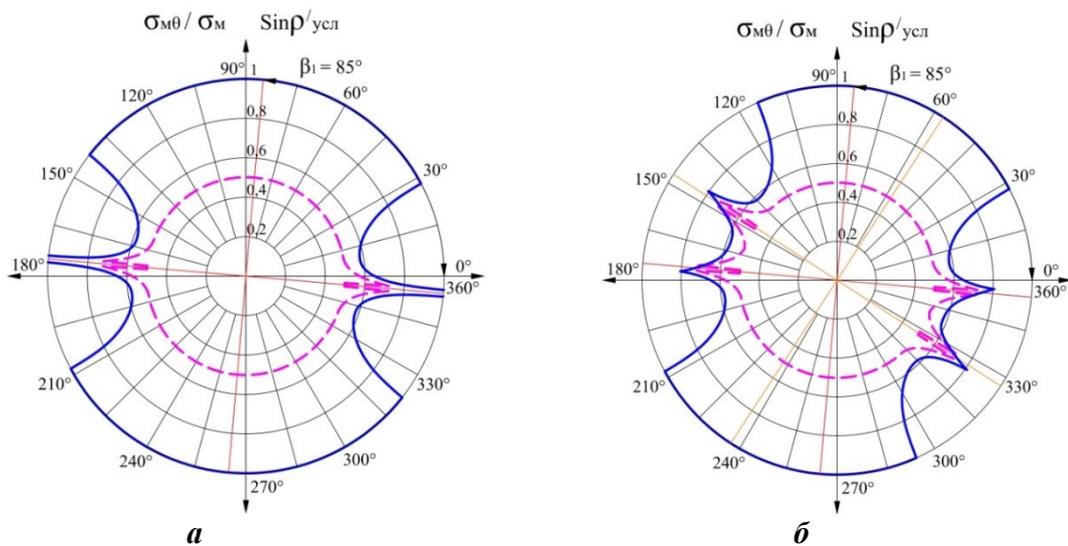


Рис. 4 – Диаграммы прочностных параметров для сечений, расположенных под углом 45° к простиранию плоскостей ослабления:
 а – одинарных с углом падения, близким к $\beta_1=85^\circ$;
 б – двойных согласно залегающих с углами $\beta_1=85^\circ$ и $\beta_2=57^\circ$

На диаграммах видно, что у каждой плоскости ослабления имеется четыре сектора со значительно сниженной прочностью. При этом области с прочностью в два и более раз меньшей могут достигать половины площади рассматриваемого сечения. Это является весьма важным обстоятельством для определения состояния пород в выработках, принятия соответствующих эффективных технических решений по их поддержанию.

Согласно общему решению К.В. Руппенейта [3], выполнены расчеты размеров зон предельного состояния в мерзлых и талых породах. При этом, в отличие от [3], учтена анизотропия прочности массива в зависимости от рассматриваемого направления, обусловленная системами нарушенностей (круговые диаграммы прочности на рис. 3 и 4).

На рис. 5. приведен пример оценки возможных размеров зон предельного состояния пород вокруг нарезных выработок на глубине 300 м, расположенных в створе с забоем.

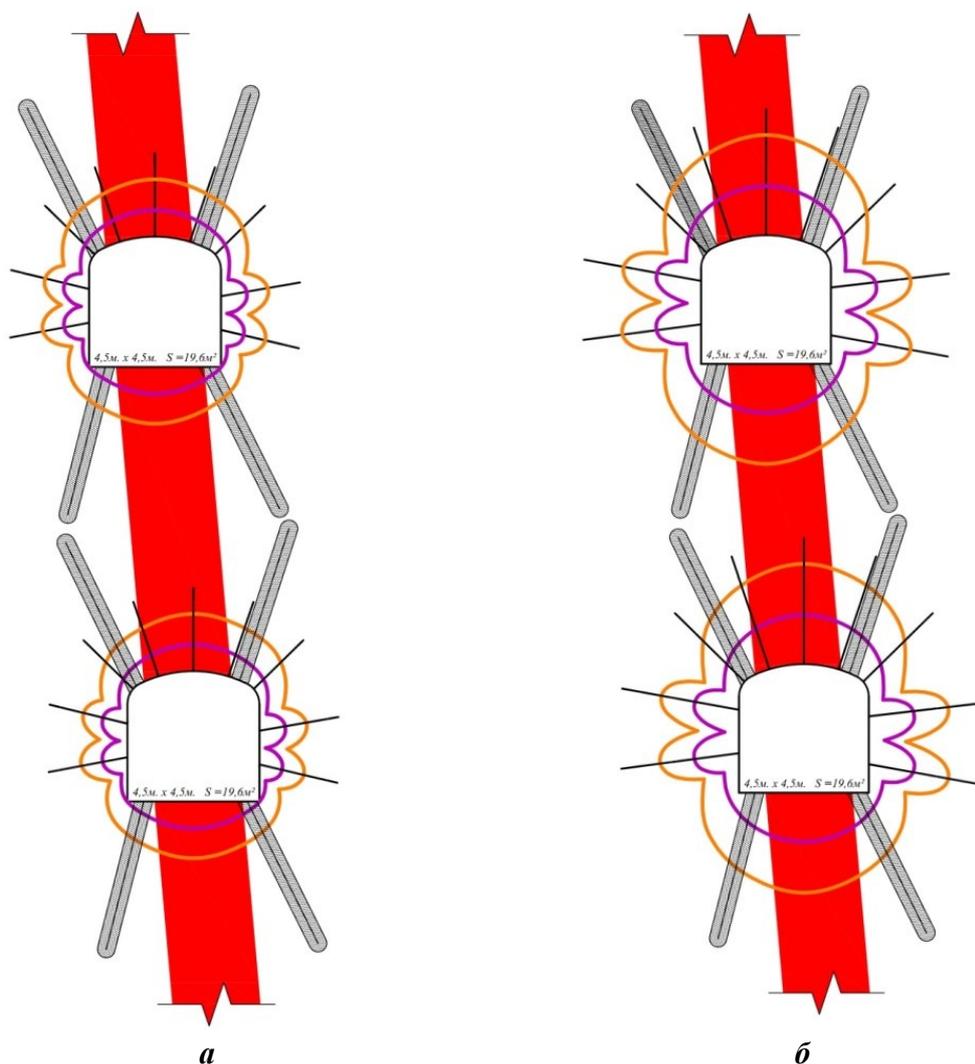


Рис. 5 – Пример оценки размеров зон предельного состояния пород вокруг нарезных выработок ($S_{штр}=19,6 \text{ м}^2$) в створе с забоем, рекомендуемым расположением анкерной крепи и скважин для упрочнения пород кровли – почвы очистного забоя путем нагнетания связующих растворов при $n_{анк} = 1,0 \text{ анк/м}^2$, $H=300 \text{ м}$:
а – мерзлые породы; *б* – талые породы

Согласно выполненным расчетам зоны предельного состояния в зоне таяния для нарезных выработок на 1,7 – 1,9 м больше, чем для зоны вечной мерзлоты.

Выводы и рекомендации

С позиций геомеханики при планировании ведения горных работ в криозоне важно оценить, в каких именно породах - мерзлых или талых - будет находиться выработка на глубинах природно-переходной области:

– в этой связи необходимо на стадии проходки систематически контролировать поведение массива пород и своевременно корректировать паспорт крепления выработки (частота установки анкеров, ячейка сетки и пр.) в зависимости от фиксируемых проявлений горного давления.

– постоянно измерять температуру пород в разведочных скважинах и шпурах для анкеров. При температуре массива выше -1°C наиболее тщательно контролировать поведение пород.

В технологическом отношении в неустойчивых породах следует применять торкретирование бортов и кровли выработки с затяжкой металлической сеткой и установкой анкеров:

– параметры анкеров в кровле необходимо принимать исходя из веса пород, ограниченной областью предельного состояния выше контура кровли выработки, в соответствии с методикой, изложенной в [4].

– для укрепления почвы выработки возможно нагнетание связующих растворов [5, 6].

Литература

1. Техничко-экономическое обоснование (проект) строительства горнодобывающего предприятия на месторождении «Купол». Т. 3. Горная часть. - ООО «Дальрудпроект», Магадан, 2005. – 200 с.

2. Кузнецов Г.Н. Механические свойства горных пород / Г.Н. Кузнецов. – М.: Углетехиздат, 1947. - 180 с.

3. Руппeneйт К.В. Некоторые вопросы механики горных пород / К.В. Руппeneйт. - М.: Углетехиздат, 1954. - 384 с.

4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах Российской Федерации» / Утверждена приказом Ростехнадзора № 610 от 17.12.2013 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.gosnadzor.ru/public/discussion/acts/anker/>

5. Инъекционное упрочнение горных пород / Ю.З. Заславский и др. – М.: Недра, 1984. - 177 с.

6. Кузьмин Е.В. Упрочнение горных пород при подземной добыче руд / Е.В. Кузьмин - М.: Недра, 1991. - 253 с.