



**ОСОБЕННОСТИ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ  
ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КЫРГЫЗСТАНА**

**К. Ч. Кожогулов, О. В. Никольская**

*Институт геомеханики и освоения недр НАН Кыргызской Республики,  
E-mail: nikol-48@mail.ru, ул. Медерова 98, г. Бишкек 720055, Кыргызская Республика*

Выполнен анализ выявленных особенностей развития геомеханических процессов в массивах пород блочного строения при ведении открытых горных работ на золоторудных месторождениях Кыргызстана и определено их влияние на устойчивость бортов карьера.

*Золоторудные месторождения, геомеханические процессы, прибортовой массив, нагорный карьер, устойчивость борта*

**FEATURES OF GEOMECHANICAL PROCESSES IN THE OPEN DEVELOPMENT  
OF GOLD DEPOSITS IN KYRGYZSTAN**

**K. Ch. Kozhogulov and O. V. Nikol'skaya**

*Institute of Geomechanics and Development of Subsoil, National Academy of Sciences, Kyrgyz Republic,  
E-mail: nikol-48@mail.ru, ul. Mederova 98, Bishkek, 720055 Kyrgyz Republic*

The identified features of the development of geomechanical processes in the massifs with block structure in open-pit mining of gold deposits in Kyrgyzstan are analyzed and their influence on the stability of open pit walls is determined.

*Gold deposits, geomechanical processes, adjacent rock mass, open pit and mountaintop removal mining, wall stability*

В Кыргызстане более 80% территории занимают горы. Открытая разработка месторождений полезных ископаемых осуществляется нагорно-глубинными карьерами, среди них действующие — Кумтор Чаарат, Куранжайлау и проектируемые — Джеруй, Андаш. Месторождение Джеруй расположено в золоторудном поясе простираемом на запад-северо-запад длиной 11 км и совпадает с резким наклоном в южном крыле зоны Ичкелетау-Сусамырского разлома. Блок, в котором находится месторождение, сильно деформирован по сравнению с соседними блоками к востоку и западу, основные деформации смещены к сбросам. Золотомедное месторождение Андаш на южном склоне Кыргызского хребта образовано мелко- и среднезернистыми диоритами пестрой окраски и общего серо-зеленого фона за счет хлоритизации пород, а также розоватыми и буроватыми монцодиоритами. Границы между этими типами пород затушеваны интенсивной трещинной тектоникой и процессами гидротермально-метасоматических изменений. В Андашском рудном поле имеют место значительные проявления разрывной тектоники. Крупные нарушения ориентированы в запад-северо-западном и широтном направлениях. Зоны разломов представлены мелкообломочными брекчиями с милонитовым заполнителем. Сложная геодинамическая обстановка в районе месторождения обуславливает наличие в массиве склона высоких горизонтальных напряжений, что в сочетании с интенсивной трещиноватостью пород приводит к неустойчивому состоянию приоткосного массива склона.

Участок золоторудного месторождения Чаарат на правом берегу р. Сандалаш, разрабатываемый открытым способом, в пределах карьерного поля сложен красноцветными окварцованными песчаниками, известняками, перекрытыми делювиальными отложениями с включением обломков коренных пород. Месторождение Чаарат относится к зоне Караторского и Сандалашского разломов, опоясывающих Таласо-Ферганский разлом. По своему характеру эти разломы представляют собой надвиги. Весь участок разбит многочисленными тектоническими трещинами, имеющими различную ориентацию относительно будущего борта карьера. Кроме этого, в рельефе и на обнажениях прослеживаются тектонические нарушения в виде складок. Среднее расстояние между трещинами составляет 10–15 см.

Указанные золоторудные месторождения, в которых добыча ведется нагорными карьерами, отличаются сложными горно-геологическими, тектоническими и гидрогеологическими условиями. Вмещающие породы, представлены, как правило, интрузивами и эффузивами, подвергнутыми метасоматическим изменениям. Основные породы и виды метаморфизма показаны в таблице [1].

Основные породы золоторудных месторождений

Месторождение	Вмещающая порода	Вид метаморфизма
Джеруй	Кварцевые диориты	Динамотермальный
Чаарат	Окварцованные песчаники и диориты	Дислокационный
Андаш	Гранодиориты, диориты, брекчии	

Породы сильно трещиноватые, причем интенсивность трещиноватости возрастает на контактах разновидностей пород и тектонических нарушений. В скважинах нередко наблюдается дискование керна, что указывает на высокие горизонтальные напряжения. Освоение этих месторождений сопровождается изменением геологической и соответственно геомеханической среды: изменяются деформационно-прочностные показатели горных пород, с глубиной возрастают вертикальные и горизонтальные напряжения, увеличивается зона концентрации напряжений на контуре борта карьера, а среда становится блочной. Геологическая среда блочного строения, подвергаясь техногенному воздействию, изменяет свое состояние: на сформировавшуюся блочность массива накладывается трещиноватость от взрывов, изменяются свойства пород и массива, т.е. изменяется геомеханическая среда.

Геомеханические процессы, происходящие в массиве пород при ведении горных работ, зависят от свойств геологической среды и параметров техногенного воздействия. Основные геомеханические процессы в прибортовом массиве нагорных карьеров, влияющие на устойчивость и безопасность ведения горных работ, — деформационные процессы, которые приводят к дополнительным напряжениям на контуре карьера, развитию процесса сдвижения не только борта карьера, но и склона, на котором он построен.

Развитие необратимых деформаций бортов карьера вовлекает в процесс смещения породы склона, объемы которых достигают миллионов кубических метров. Борт карьера на склоне обычно расположен в породном массиве с низкими прочностными характеристиками. При его вскрытии обнажаются естественные трещины, что способствует интенсивному проникновению воды по ним вглубь массива.

Особенность прибортового массива пород нагорного карьера состоит в том, что борт на склоне находится в зоне действия растягивающих напряжений, которые проявляются в пределах всех уступов. Известно, что напряженное состояние породного массива обуславливается одновременным действием гравитационных и тектонических полей. В результате взаимодействия геологической и сформировавшейся из-за техногенного воздействия геомеханической среды в прибортовом массиве образуются три зоны напряженного состояния: зона остаточной прочности, здесь развиваются растягивающие напряжения, превышающие прочностные свойства пород и происходит разрушение прибортового массива; далее следует зона предельного равновесия, где

может произойти смещение приоткосного массива, при этом дополнительные напряжения стремятся к нулю; третья — зона устойчивого равновесия, напряжения которой соответствуют естественным напряжениям. Параметры этих зон зависят от строения прибортового массива, свойств пород и геометрических показателей нагорного карьера.

В прибортовом массиве нагорных карьеров явно выражены структурные неоднородности в виде блоков различных размеров. По их размерам выделяются несколько типов неоднородностей: структурные нарушения на уровне минеральных зерен; микротрещиноватость, образующая блоки размерами до десятков сантиметров; макротрещиноватость (блоки размерами до нескольких метров) и крупные геологические нарушения, соизмеримые с масштабами месторождений в целом [2–5].

Механические характеристики массива горных пород блочного строения зависят не только от прочности пород, но и от размеров блоков и интенсивности трещиноватости. Так как здесь рассматриваются только структурные особенности массива, из перечисленных факторов, влияющих на его механические характеристики, будем касаться только формы отдельности и интенсивности трещиноватости.

Одна из форм проявления геомеханических процессов — образование зон неупругих деформаций и разрушений. Преобладающим видом потери устойчивости обнажений в пределах уступов является возникновение отдельных вывалов, размеры которых обусловлены параметрами “эффективных” структурных неоднородностей.

Устойчивость уступа или борта карьера зависит от условия на контактах блоков и отношение высоты уступа  $h$  к линейным размерам структурного блока  $l$ . При высоте уступа  $h = 10$  м и изменении соотношения  $h/l$  с 200 до 1 ( $l = 0.05–10$ ) значение коэффициента структурного ослабления увеличивается от 2 до 14, показателя прочности массива — от 0.2 до 1.36.

Известно [4], что деформирование и разрушение горных пород в массиве осуществляется в определенной последовательности: сдвиг в упругой стадии — отрыв — разрушение слабых блоков — поворот более прочных структурных блоков. Такая закономерность основана на предположении о характере деформирования трещиноватого массива. Если направление приложения усилия не совпадает с плоскостями трещин, то возникает деформация растяжения в направлении наименьшего главного напряжения, появляются трещины отрыва, в наиболее слабых участках структурных блоков, ограниченных трещинами разрыва, — сколовые трещины. Затем происходит вращательное перемещение структурных блоков. Это положение отражает масштабный эффект, оцениваемый коэффициентом структурного ослабления [4]

$$\lambda = \frac{k_{об}}{k_{стр}},$$

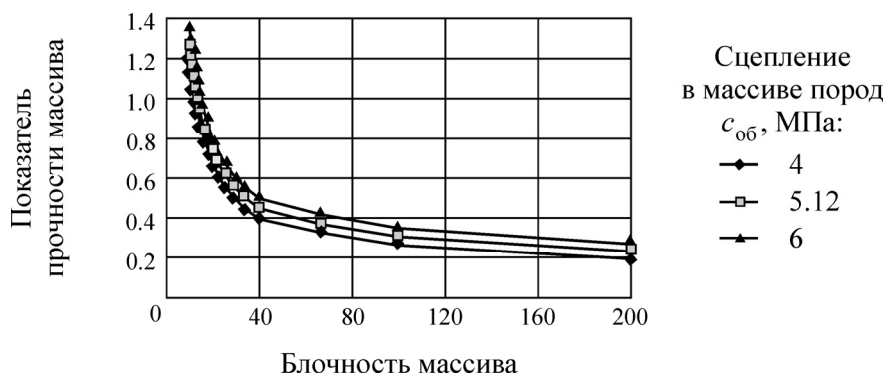
где  $k_{об}$ ,  $k_{стр}$  — показатели прочности исследуемой области массива пород и прочности структурного блока, соответственно.

Коэффициент  $\lambda$  — величина непостоянная и зависит от степени структурной раздробленности  $l_{об}/l_{стр}$ , прочности структурных блоков, ориентации поверхностей ослабления массива (трещин) к направлению нормальных напряжений и масштабного фактора. Чем больше  $l_{об}/l_{стр}$ , тем большее число факторов влияют на коэффициент структурного ослабления, величина его уменьшается, т. е. прочность массива снижается. В [4] установлено, что

$$c_{об} = c_T + \frac{c_{стр} - c_T}{1 + a \ln \left( \frac{l_{об}}{c_{стр}} \right)},$$

где  $c_{об}$  — сцепление в массиве пород, МПа;  $c_T$  — сцепление по трещине, МПа;  $c_{стр}$  — сцепление в структурном блоке, МПа;  $a$  — безразмерный коэффициент, зависящий от прочности структурного блока (при изменении  $\sigma_{сж}$  от 1 до 100 МПа значение коэффициента  $a$  возрастает от 1 до 7).

Анализ зависимости сцепления пород в массиве от степени его блочности (рисунок) показал, что уменьшение сцепления практически на 70% происходит при размере блока, составляющим от 5 до 25% высоты уступа. С увеличением размера блока снижение сцепления происходит плавно.



Зависимость показателя прочности массива от его блочности

## ВЫВОДЫ

Наличие систем трещин в прибортовом массиве формирует блочное строение и приводит к дизъюнктивным нарушениям с потерей устойчивости отдельных блоков, при этом общая устойчивость борта карьера сохраняется.

В зависимости от размера блока (геологического индекса массива пород) разрушение борта происходит около наиболее неустойчивого уступа в виде сдвига или опрокидывания в сторону выработанного пространства. Поверхность скольжения представляет собой ломаную линию, состоящую из площадок поверхности трещин, ограничивающих блок. Основными факторами, определяющими устойчивость уступа или борта, являются углы падения трещин и межблоковая прочность пород.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Kozhogulov K. Ch., Nikolskaya O. V., and Kadyralieva G. A.** Features of rock properties in the zones of influence of tectonic disturbances of gold deposits in Kyrgyzstan, Problems of safety and efficiency of the development of georesources in modern conditions, materials scientific-practical conf., Perm, 2014, pp. 273–277. [**Кожогулов К. Ч. Никольская О. В., Кадыралиева Г. А.** Особенности свойств горных пород в зонах влияния тектонических нарушений золоторудных месторождений Кыргызстана // Проблемы безопасности и эффективности освоения георесурсов в современных условиях: материалы науч.-практ. конф. — Пермь, 2014. — С. 273–277.]
2. **Medvedev R. V., Kasparyan E. V. and Kovaleva G. A.** Structural heterogeneity and their role in the formation of the properties of rocks, Journal of Mining Science, 1972, no. 2, pp. 25–37. [**Медведев Р. В., Каспарян Э. В., Ковалева Г. А.** Структурные неоднородности и их роль в формировании свойств горных пород // ФТПРПИ. — 1972. — № 2. — С. 25–37.]
3. **Kazikaev D. M.** Geomechanical processes in the joint and repeated development of ores, Moscow, Nedra, 1981, 288 pp. [**Казикаев Д. М.** Геомеханические процессы при совместной и повторной разработке руд. — М.: Недра, 1981. — 288 с.]
4. **Fisenko G. L.** Limit states of rocks around workings, Moscow, Nedra, 1976, 272 pp. [**Фисенко Г. Л.** Предельные состояния горных пород вокруг выработок. — М.: Недра, 1976. — 272 с.]
5. **Dzevomsky J., Komarov I. S., Molokov L. A., and Reuters F.** Engineering-geological research in hydraulic engineering construction, Moscow, Nedra, 1981, 352 pp. [**Дзевомский Я., Комаров И. С., Молоков Л. А., Рейтер Ф.** Инженерно-геологические исследования при гидротехническом строительстве. — М.: Недра, 1981. — 352 с.]