

ОЦЕНКА ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД НАГОРНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Никольская Ольга Викторовна¹, Асильова Зульфиya Атамырзаевна²

¹Института машиноведения, автоматики и геомеханики НАН КР, Кыргызская Республика, г.Бишкек

²Жалал-Абадский международный университет, Кыргызская Республика, г. Манас

Аннотация

В статье рассмотрен подход к оценке геодинамического состояния массива горных пород нагорного месторождения. Установлено, что напряжённое состояние среды определяется как природными, так и техногенными факторами, включая тектонические силы и структурную блочность массива. Использованы положения общей теории предельных состояний и инварианты напряжений, включая параметр Лоде-Надаи. Проведены расчёты вертикальных и горизонтальных напряжений по гипотезам Гейма, Динника и Айтматова. Установлено, что в условиях тектонически активных районов горизонтальные напряжения существенно превышают вертикальные. На основе коэффициента Лоде-Надаи показано, что для золоторудных месторождений Кыргызстана характерно горизонтальное сжатие массива. Полученные результаты имеют прикладное значение для оценки устойчивости бортов карьеров и прогноза геомеханических рисков.

Ключевые слова: Геодинамическое состояние, тектонические напряжения, напряженно-деформированное состояние, Лоде-Надаи, массив горных пород, золоторудные месторождения, горизонтальное сжатие, устойчивость склонов.

ASSESSMENT OF THE GEODYNAMIC STATE OF THE ROCK MASS AT A HIGHLAND DEPOSIT

Nikolskaya Olga Viktorovna¹, Asilova Zulfiya Atamyrzaevna²

¹Institute of Mechanical Engineering, Automation and Geomechanics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic

²Jalal-Abad International University, Manas, Kyrgyz Republic

Abstract

This article presents an approach to assessing the geodynamic state of the rock mass at a highland deposit. It has been established that the stress state of the medium is determined by both natural and anthropogenic factors, including tectonic forces and the blocky structure of the rock mass. The study applies the general theory of limit states and stress invariants, including the Lode–Nadai parameter. Calculations of vertical and horizontal stresses were carried out using the hypotheses of Heim, Dinnik, and Aitmatov. It was found that in tectonically active regions, horizontal stresses significantly exceed vertical ones. Based on the Lode–Nadai coefficient, it is shown that gold ore deposits in Kyrgyzstan are characterized by a state of horizontal compression. The obtained results have practical significance for the assessment of slope stability in open-pit mines and for the prediction of geomechanical risks.

Keywords: Geodynamic state, tectonic stresses, stress–strain state, Lode–Nadai parameter, rock mass, gold ore deposits, horizontal compression, slope stability.

© 2025. The Authors. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License, CC BY, which allows others to freely distribute the published article, with the obligatory reference to the authors of original works and original publication in this journal. Correspondence: Zulfiya Atamyrzaevna Asilova, Associate Professor, Jalal-Abad International University, Jalal-Abad, Kyrgyzstan, Email: aslova.zulfiya@mai.ru

Введение

Известно, что верхняя часть земной коры характеризуется развитой системой структурных нарушений, которые ограничивают блоки разных уровней. Естественная блочно-иерархическая структура является основным фундаментальным свойством реальных массивов, горных пород. [1,2]. Сложное структурно-тектоническое строение породного массива является доминирующим фактором состояния геологической среды и определяет геомеханическую устойчивость геотехнических объектов, наличие зон различной прочности среды и сложный характер деформационных процессов, происходящих в блочной среде.

В связи с увеличением масштабов инженерной деятельности человека геодинамическая опасность превратилась в самостоятельную составляющую экологической опасности. Естественное напряженное состояние недр и их структурное строение рассматриваются как характеристики окружающей среды, от которых зависит экологическая безопасность человечества.

Выход проблемы техногенных геодинамических явлений на геоэкологический уровень требует совершенства методов их прогноза и профилактики.

Методика исследований

Объектом исследования является массив горных пород нагорных месторождений Кыргызстана, характеризующийся блочным строением и тектонической нарушенностью.

Для расчётов использованы усреднённые физико-механические свойства вмещающих пород ($\gamma = 0,027 \text{ МН/м}^3$, $v = 0,3$, $E = (5-10) \times 10^4 \text{ МПа}$). Высота рассматриваемого борта карьера — 100 м.

Анализ выполнен с применением положений общей теории предельных состояний (ОТПС) и инвариантов напряжений (по Е.И. Шемякину). Использованы три инварианта:

1. Теоретическая основа.

$$\tau_{23} = (\sigma_2 - \sigma_3)/2, \sigma_n = (\sigma_1 + \sigma_3)/2, \mu = (\sigma_2 - \sigma_n)/\tau_{23}$$

где μ — параметр Лоде-Надаи, характеризующий тип напряжённого состояния.

2. Принятые гипотезы.

- Гейма (1878): $\sigma_v = \sigma_h$ (гидростатическое сжатие).
- Динника (1925): $\sigma_v = \gamma H$, $\sigma_h = k \cdot \sigma_v$, где $k = v/(1-v)$.
- Айтматова (2000): σ_h учитывает тектоническую составляющую, изменяющуюся по глубине согласно эмпирической зависимости (2).

3. Порядок расчётов.

Для каждой глубины ($H = 10-100 \text{ м}$) рассчитаны вертикальные и горизонтальные напряжения по трём гипотезам.

Полученные значения использовались для оценки коэффициента Лоде-Надаи и построения зависимости σ_x , σ_y , σ_z .

Выполнено сравнение результатов по различным гипотезам, определено соотношение σ_h/σ_v и тип напряжённого состояния (сжатие, растяжение, сдвиг).

В целях сопоставимости результатов была принята для всех карьеров высота борта $H = 100$ м.

Для определения наряженного состояния массива пород в условиях действия тектонических сил в горно-складчатых областях применены установлены Айтматовым [8] зависимости

$$\begin{aligned}\sigma_x + \sigma_y &= 9,5 + 0,075H \\ \sigma_x &= 4,5 + 0,045H \\ \sigma_y &= 2 + 0,030H\end{aligned}$$

Если модуль упругости пород изменяется в пределах $E = (5-6)10^4 - (10-11)10^4$ МПа

$$\begin{aligned}\sigma_x + \sigma_y &= 5 + 0,058H \\ \sigma_x &= 3 + 0,03H \\ \sigma_y &= 2 + 0,028H\end{aligned}$$

Если модуль упругости пород изменяется в пределах $E = (2-3)10^4 - (5-6)10^4$ МПа

Результаты исследований

Результаты определения напряжений действующих в массиве пород по гипотезе А.Н.Динника приведены в табл.1

• Таблица 1. Распределение напряжений в массиве горных пород

Высота H , метр	Удельный вес γ , N/m^3	Вертикальные напряжения σ_z , МПа	Коэффициент Пуассона	Боковой распор	Горизонтальные напряжения $\sigma_x = \sigma_y$, МПа
10	0,027	0,27	0,3	0,43	0,1161
20	0,027	0,54	0,3	0,43	0,2322
30	0,027	0,81	0,3	0,43	0,3483
40	0,027	1,08	0,3	0,43	0,4644
50	0,027	1,35	0,3	0,43	0,5805
60	0,027	1,62	0,3	0,43	0,6966
70	0,027	1,89	0,3	0,43	0,8127
80	0,027	2,16	0,3	0,43	0,9288
90	0,027	2,43	0,3	0,43	1,0449
100	0,027	2,7	0,3	0,43	1,161

Для этих же условий пересчитаны горизонтальные напряжения по гипотезе И.Т.Айтматова, значения которых приведены в табл.2

• Таблица 2. Значение напряжений в массиве горных пород с учетом тектонических напряжений

Глубина, Н метр	Объемный вес γ , Н/м ³	Вертикальные напряжения σ_z , МПа	Горизонтальные напряжения σ_x , МПа	Горизонтальные напряжения σ_y , МПа
10	0,027	0,27	4,95	5,3
20	0,027	0,54	5,4	5,6
30	0,027	0,81	5,85	5,9
40	0,027	1,08	6,3	6,2
50	0,027	1,35	6,75	6,5
60	0,027	1,62	7,2	6,8
70	0,027	1,89	7,65	7,1
80	0,027	2,16	8,1	7,4
90	0,027	2,43	8,55	7,7
100	0,027	2,7	9	8

На основании анализа полученных результатов расчета напряжений в массиве горных пород установлено, что в тектонически активных регионах, к которым относится Кыргызстан, горизонтальные напряжения превышают вертикальные на два порядка.

Оценка геодинамического состояния прибортового массива при разработке месторождений открытым способом

Золоторудные месторождения расположены преимущественно в зонах влияния дисъюнктивных нарушений [9], поэтому важно знать не только значения напряжений, но и направление. Учитывая, что массив горных пород этих месторождений имеет блочное строение [10], значение коэффициента $\mu = 1$ соответствует горизонтальному сжатию, $\mu = -1$ – горизонтальному растяжению и $\mu = 0$ – сдвигу. Руководствуясь коэффициентом Лоде-Надаи μ [11] было оценено состояние отдельных месторождений. Результаты расчетов приведены в табл.3

• Таблица 3. Геодинамическое состояние массива горных пород золоторудных месторождений

Месторождение	Вмещающие породы	Коэффициент Лоде-Надаи, μ
Чаарат	окварцованные диориты	1
Ункурташ	гранодориты	1
Каматор	амфиболовые сланцы	1
Куранджайляу	англезитовые порфиры	1
Талды-Булак Левобережный	Метосоматит кварц-карбонатного состава	1
Кумтор	филиты	1
Джеруй	диорты	1