CHUQUR RUDA KONLARIDA BORT TURG‘UNLIGINI BAHOLASH VA UNGA TA’SIR ETUVCHI KON-GEOLOGIK HAMDA GEOMEXANIK OMILLARNI TAHLIL QILISH

Ravshanov Z.Y.
Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent shahri, O‘zbekiston Respublikasi
Kadirkulov D.I.
Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent shahri, O‘zbekiston Respublikasi
Raxmonov F.F
Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent shahri, O‘zbekiston Respublikasi
Karamanov A.N.
Nukus davlat texnika universiteti, Nukus shahri, Qoraqalpog‘iston Respublikasi
Bekmuratov A.O.
Nukus davlat texnika universiteti, Nukus shahri, Qoraqalpog‘iston Respublikasi
Embergenov A.P
Nukus davlat texnika universiteti, Nukus shahri, Qoraqalpog‘iston Respublikasi

Annotatsiya. Mazkur maqolada chuqur ruda konlarida karyer bortlarining turg‘unligini baholash va unga ta’sir etuvchi asosiy kon-geologik hamda geomexanik omillar kompleks tarzda tahlil qilingan. Chuqurlik ortishi bilan tog‘ massividagi tabiiy kuchlanishlarning qayta taqsimlanishi, tektonik buzilishlar, darzdorlik darajasi va gidrogeologik sharoitlar bort barqarorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlangan. Tadqiqot jarayonida tog‘ jinslarining fizik-mexanik xossalari, ko‘chish yuzalarining shakllanish mexanizmlari va deformatsiya zonalarining rivojlanish qonuniyatlari o‘rganildi. Bortning turg‘unlik koeffitsientini aniqlash uchun muvozanat sharti asosida hisoblash usullari qo‘llanildi hamda xavfli uchastkalarni prognozlash mezonlari ishlab chiqildi. Olingan natijalar chuqur karyerlarni loyihalashda optimal bort burchagini tanlash, ko‘chki xavfini kamaytirish va kon ishlarini xavfsiz olib borishni ta’minlash uchun ilmiy-amaliy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: chuqur karyer; bort turg‘unligi; geomexanika; tog‘ bosimi; ko‘chish yuzasi; darzdorlik; tektonik buzilishlar; turg‘unlik koeffitsienti; deformatsiya zonasi; gidrogeologik sharoitlar.

ISSN 3030-3907

Аннотация.В статье выполнен комплексный анализ устойчивости бортов глубоких рудных карьеров и основных горно-геологических и геомеханических факторов, влияющих на неё. Установлено, что с увеличением глубины разработки перераспределение естественных напряжений в массиве, тектонические нарушения, трещиноватость пород и гидрогеологические условия существенно снижают устойчивость бортов. В ходе исследования изучены физико-механические свойства горных пород, механизмы формирования поверхностей скольжения и закономерности развития зон деформации. Для определения коэффициента устойчивости применены расчёты по условиям предельного равновесия, а также разработаны критерии прогнозирования опасных участков. Полученные результаты могут использоваться при проектировании глубоких карьеров для обоснования оптимальных углов откоса, снижения вероятности оползневых процессов и обеспечения безопасного ведения горных работ.

Ключевые слова: глубокий карьер; устойчивость бортов; геомеханика; горное давление; поверхность скольжения; трещиноватость; тектонические нарушения; коэффициент устойчивости; зона деформации; гидрогеологические условия.

Abstract. This paper presents a comprehensive assessment of slope stability in deep open-pit ore mines and analyzes the main geological and geomechanical factors affecting it. It is shown that with increasing mining depth, the redistribution of in situ stresses, tectonic disturbances, rock mass fracturing, and hydrogeological conditions significantly influence slope stability. The study investigates the physical and mechanical properties of rocks, mechanisms of sliding surface formation, and the development patterns of deformation zones. Stability coefficients were calculated using limit equilibrium methods, and criteria for predicting hazardous zones were proposed. The obtained results provide a scientific and practical basis for selecting optimal slope angles in deep pits, reducing landslide risk, and ensuring safe mining operations.

Keywords: deep open pit; slope stability; geomechanics; rock pressure; slip surface; rock mass fracturing; tectonic disturbances; factor of safety; deformation zone; hydrogeological conditions.

KIRISH

So‘nggi yillarda foydali qazilmalarni ochiq usulda qazib olish hajmining ortib borishi karyerlarning chuqurlashuviga olib kelmoqda. Zamonaviy konchilik amaliyotida ayrim ochiq ruda konlarining chuqurligi 500–800 m va undan ortiq qiymatlarga yetmoqda. Chuqurlikning ortishi bilan tog‘ jinslari massivida mavjud tabiiy kuchlanishlar qayta taqsimlanadi, bu esa bortlarning barqarorligiga bevosita

ISSN 3030-3907

ta’sir ko‘rsatadi. Natijada bort deformatsiyalari, ko‘chki jarayonlari va ayrim hollarda yirik masshtabli qulash hodisalari kuzatilishi mumkin. Bunday holatlar ishlab chiqarish xavfsizligini pasaytiradi, texnologik jarayonlarning uzluksizligini buzadi hamda kon korxonalariga katta iqtisodiy zarar yetkazadi.

Chuqur karyerlarda bort turg‘unligi masalasi ko‘p omilli geomexanik muammo hisoblanadi. Bortlarning barqarorligi faqat tog‘ jinslarining mustahkamligiga bog‘liq emas, balki geologik tuzilish, tektonik buzilishlar, darzdorlik darajasi, qatlamlarning yotish burchagi, gidrogeologik sharoitlar va portlatish ishlari ta’siri bilan ham belgilanadi. Ayniqsa, kuchli darzlangan yoki tektonik zonalar bilan kesishgan uchastkalarda tog‘ jinslari massivi mustahkamligi keskin kamayadi va potensial ko‘chish yuzalari shakllanishi osonlashadi.

Karyer chuqurlashgan sari vertikal tog‘ bosimi ortadi va shu bilan birga gorizontal kuchlanishlarning nisbiy ulushi ham o‘zgaradi. Bu jarayon bort yonbag‘irlarida kesuvchi kuchlarning ortishiga, ko‘chgan yuzalarining chuqurlashishiga hamda deformatsiya zonalarining kengayishiga olib keladi. Bunday sharoitda bortlarning barqarorligini baholash uchun an’anaviy muhandislik yondashuvlari yetarli bo‘lmay, tog‘ jinslari massividagi kuchlanish-deformatsiya holatini kompleks geomexanik tahlil qilish talab etiladi.

Shuningdek, yer osti suvlari ham bort turg‘unligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Suv bosimi o‘pirilish yuzalarida ishqalanish kuchini kamaytirib, tog‘ jinslarining mustahkamlik parametrlarini pasaytiradi. Namlangan zonalarda yopishish kuchining kamayishi natijasida bort barqarorligi yomonlashadi va ko‘chki ehtimoli ortadi. Shu sababli gidrogeologik omillarni hisobga olmasdan turib bort burchagini belgilash yoki karyer parametrlarini loyihalash ishonchli natija bermaydi.

Hozirgi vaqtda chuqur ruda konlarida xavfsiz qazib olishni ta’minlashning asosiy sharti bort turg‘unligini oldindan baholash va xavfli zonalarni prognozlashdan iborat. Buning uchun tog‘ jinslari fizik-mexanik xossalarini aniqlash, strukturaviy buzilishlarni o‘rganish hamda o‘pirilish-ko‘chish mexanizmlarini aniqlash zarur. Geomexanik hisoblashlar asosida turg‘unlik koeffitsientini aniqlash karyer bortining ishonchliligini baholash imkonini beradi.

Mazkur tadqiqotning maqsadi chuqur ruda konlarida bort turg‘unligiga ta’sir etuvchi asosiy kon-geologik va geomexanik omillarni aniqlash, o‘pirislish jarayonlarining shakllanish qonuniyatlarini o‘rganish hamda xavfli uchastkalarni prognozlash mezonlarini ishlab chiqishdan iborat.

Bort turg‘unligini baholash quyidagi bosqichlarda amalga oshirildi:

- Tog‘ jinslarining fizik-mexanik parametrlarini aniqlash (σc, σt, φ, c)
- Geologik buzilishlarni kartalashtirish
- Kuchlanish-deformatsiya holatini analitik baholash

ISSN 3030-3907

➢ O‘pirilish ehtimolini hisoblash

Bortning turg‘unlik koeffitsienti quyidagicha aniqlandi:

$$K_{st} = \frac{cL + (N - U)tau\varphi}{T}$$

bu yerda:

c – yopishish koeffitsienti

φ – ichki ishqalanish burchagi

N – normal bosim

U – suv bosimi

T – siljituvchi kuchlar

1-jadval

Bort turg‘unligiga ta’sir qiluvchi asosiy omillar

Geologik omillar	• tektonik yoriqlar • qatlamlarning qiyaligi • litologik notekislik • darzdorlik
Geomexanik omillar	• tabiiy kuchlanishlar • tog‘ bosimi gradienti • portlatish ishlari ta’siri
Gidrogeologik omillar	• Yer osti suvlari bort barqarorligini eng kuchli kamaytiruvchi omillardan biridir. Suv bosimi ko'chish yuzasida ishqalanishni kamaytiradi

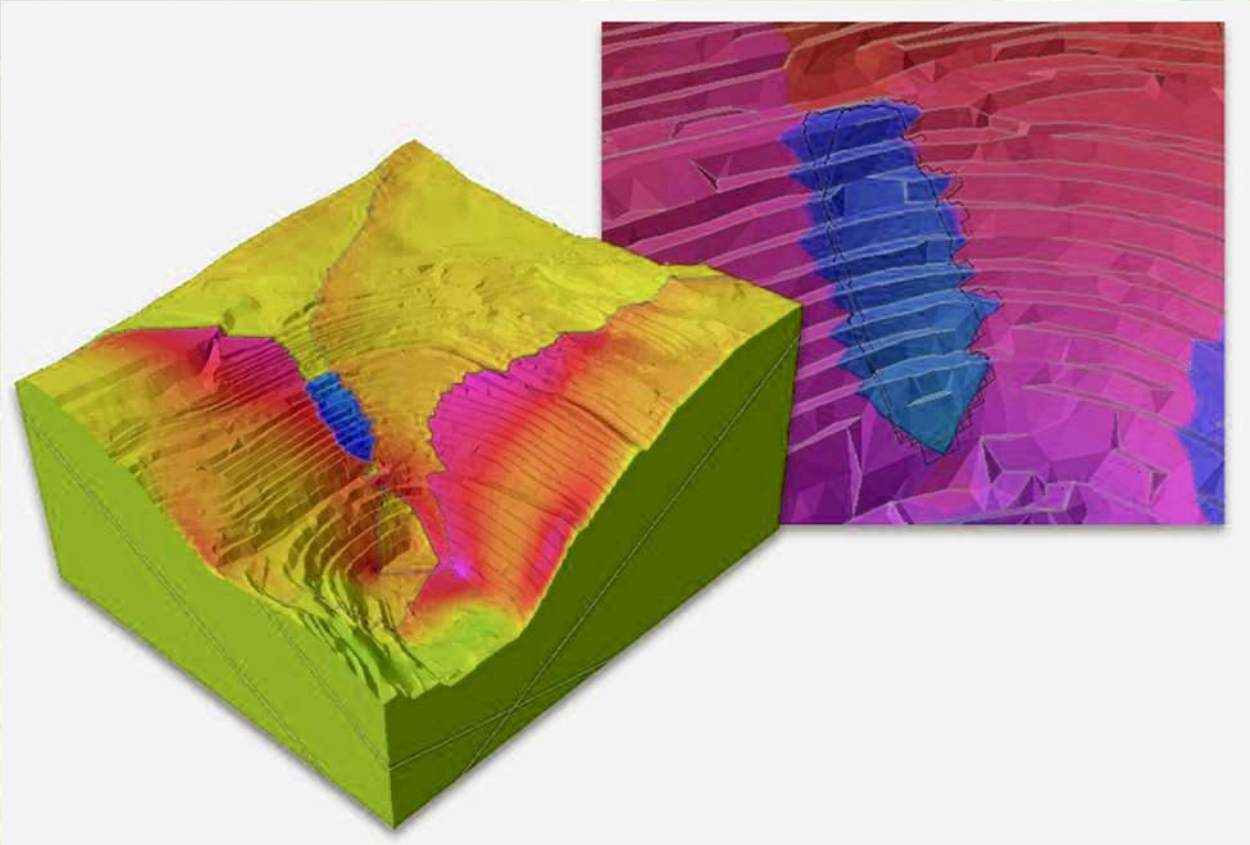
O‘tkazilgan dala kuzatuvlari, laboratoriya sinovlari va geomexanik hisoblashlar natijalari chuqur ruda konlarida bort barqarorligi chuqurlik ortishi bilan sezilarli ravishda yomonlashishini ko‘rsatdi. Ayniqsa, tektonik buzilishlar va suvlanish mavjud uchastkalarda deformatsiya jarayonlari keskin faollashishi aniqlandi.

Kuchlanish-deformatsiya holatining shakllanishi. Sonli modellashtirish natijalari karyer borti yonbag‘rida kuchlanishlarning notekis taqsimlanishini ko‘rsatdi. Maksimal siqilish kuchlanishlari bortning yuqori qismida, maksimal siljish va plastiklik zonalari esa bort tagiga yaqin hududlarda shakllandi. Chuqurlik ortishi bilan plastiklik zona chuqurlashib bordi va ko‘chish yuzasi radiusi kattalashdi.

ISSN 3030-3907

1-rasm

Tog‘ jinslarining qatlamli tuzilishi va geologik kesim



Model natijalari quyidagilarni ko‘rsatdi:

- o‘pirilish sathi odatda bortning o‘rta qismidan boshlanadi;
- chuqurlik 400 m dan oshganda deformatsiya tezligi ortadi;
- darzlangan jinslarda yemirilish zonasi 1,5–2 barobar kengayadi.

Turg‘unlik koeffitsientining hisoblash natijalari. Hisoblashlar limit muvozanat usuli bo‘yicha bajarildi. Turli chuqurlik va gidrogeologik sharoitlar uchun turg‘unlik koeffitsienti aniqlangan.

2-jadval

Chuqurlikka bog‘liq holda bort barqarorligi koeffitsienti

Karyer chuqurligi (m)	Quruq sharoit Ks	Suv mavjud Ks
150	1.62	1.41
250	1.48	1.26
350	1.33	1.12
450	1.18	0.97
550	1.05	0.82

Natijalardan ko‘rinadiki:

- 350 m gacha bort barqaror hisoblanadi;
- 450 m chuqurlikdan boshlab ko‘chki ehtimoli paydo bo‘ladi;
- yer osti suvlari mavjud bo‘lsa turg‘unlik 20–30 % ga kamayadi.

ISSN 3030-3907

Ko‘chish mexanizmlarining aniqlanishi. Geologik kuzatuvlar natijasida bortlarda uch xil yemirilish mexanizmi aniqlangan:

1) Aylana ko‘chish (eng keng tarqalgan)
2) Qatlam bo‘ylab ko‘chish
3) Klinli qulash

Olib borilgan tadqiqotlar natijasida chuqur karyerlar bortlari barqarorligiga ta’sir qiluvchi asosiy omillar kompleks ravishda tahlil qilindi hamda ularning o‘zaro bog‘liqligi geomexanik modellashtirish asosida baholandi. Sonli modellashtirish (uch o‘lchamli geomexanik hisoblashlar) natijalari shuni ko‘rsatdiki, bort barqarorligi faqat jinslarning mustahkamlik ko‘rsatkichlariga emas, balki tektonik buzilishlar, darzdorlik darajasi, kon bosimi qayta taqsimlanishi va yer osti suvlarining ta’siriga ham bevosita bog‘liq. Hisoblash natijalariga ko‘ra deformatsiyalarning maksimal qiymatlari bortning o‘rta va pastki qismida, ayniqsa tektonik zaiflashgan zonalarda kuzatiladi. Ushbu hududlarda ko‘chish yuzalarining shakllanish ehtimoli yuqori bo‘lib, ular odatda yoriqlar va qatlamlar yo‘nalishi bilan mos keladi. Shuningdek, qazib olish chuqurligining ortishi bilan kon massividagi boshlang‘ich kuchlanishlar ortishi va natijada kesuvchi hamda cho‘zuvchi kuchlanishlarning paydo bo‘lishi bort barqarorligini pasaytirishi aniqlandi.

Tadqiqot asosida xavfsiz bort modelini shakllantirish uchun quyidagi ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi:

- bort qiyalik burchagini geomexanik sharoitga mos differensial ravishda belgilash;
- tektonik buzilish zonalarida bort qiyaligini kamaytirish;
- suvlanish darajasi yuqori uchastkalarda drenaj tizimlarini joriy etish;
- xavfli uchastkalarda geodezik va geotexnik monitoringni doimiy olib borish;
- qazib olish ketma-ketligini kon bosimi qayta taqsimlanishini hisobga olgan holda rejalashtirish.

Taklif etilgan yondashuv karyer bortlari uchun turg‘unlik koeffitsientini oshirish, ko‘chish va qulash hodisalarining oldini olish hamda ochiq kon ishlarining sanoat xavfsizligini ta’minlash imkonini beradi.

ADABIYOTLAR

1. Каримов Б.Р., Ниязов А.А. Ochiq konlarda bort barqarorligini baholash usullari // *Konchilik xabarnomasi*. – Toshkent, 2020. – №3. – B. 28–34.
2. Абдурахмонов Х.Х. Kon jinslari mexanikasi. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2016. – 256 b.

ISSN 3030-3907

3. Mavlonov O., Tursunov S. Chuqur karyerlar geotexnik monitoringi va deformatsiyalarni prognozlash // *ToshDTU ilmiy axboroti*. – 2021. – №2. – B. 62–69.
4. Ермолович Е.А., Баранов В.Н. Геомеханическое обоснование устойчивости бортов глубоких карьеров // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2018. – №7. – С. 45–52.
5. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. – М.: Горная книга, 2008. – 420 с.
6. Кузьмин Е.В., Ржевский В.В. Открытые горные работы. Геомеханика карьерных откосов. – М.: Недра, 2012. – 344 с.
7. Hoek E., Bray J.W. Rock Slope Engineering. – London: CRC Press, 2019. – 402 p.
8. Hoek E., Carranza-Torres C., Corkum B. Hoek–Brown failure criterion — 2002 edition // *Proceedings of the North American Rock Mechanics Society Meeting*. – Toronto, 2002. – P. 267–273.
9. Bieniawski Z.T. Engineering Rock Mass Classifications. – New York: John Wiley & Sons, 1989. – 251 p.
10. Brady B.H.G., Brown E.T. Rock Mechanics for Underground Mining. 3rd ed. – Dordrecht: Springer, 2006. – 628 p.
11. Singh B., Goel R.K. Engineering Rock Mass Classification: Tunnelling, Foundations and Landslides. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2011. – 354 p.
12. Itasca Consulting Group. FLAC3D – Fast Lagrangian Analysis of Continua. User's Guide. – Minneapolis, USA, 2019. – 368 p.
13. Read J., Stacey P. Guidelines for Open Pit Slope Design. – Melbourne: CSIRO Publishing, 2009. – 496 p.
14. Stead D., Wolter A. A critical review of rock slope failure mechanisms: The importance of structural geology // *Journal of Structural Geology*. – 2015. – Vol. 74. – P. 1–23.

ISSN 3030-3907