

IMPROVING ORE QUALITY MANAGEMENT IN DEEP POLYMETALLIC DEPOSITS

Temirova Hilola Rustamjon kizi

Almalyk State Technical Institute 3M-24

Master of Mining Group

ABSTRACT

The article analyzes the problem of ore quality management in underground mining of deep polymetallic deposits from a geological, technological, geomechanical and geometallurgical point of view. The analysis focuses on the fact that ore quality is a complex indicator determined not only by the metal content, but also by the mineralogical composition of the ore, textural properties, harmful impurities, degree of dilution, the state of mixing in logistics processes and technological response to enrichment. In the process of mining in deep layers, high rock pressure, instability of stope walls, excessive destruction after blasting, mixing of ore with waste rock, reduced representativeness of samples and time delays in the mine-factory chain complicate ore quality management. The article argues that the need to improve ore quality management requires geological domaining, customized sampling protocols, QA/QC system, geotechnical control of liquefaction, near-real-time monitoring, identification of ore flow along logistics, geometallurgical model, and the introduction of a continuously updated grade-control model.

Keywords: Deep mine, polymetallic ore, ore quality, grade control, geometallurgy, liquefaction, sampling, mine-to-mill, logistics, block model, ore mixing, underground mining.

**CHUQUR POLIMETAL KONLARINI QAZIB OLISHDA RUDA SIFATINI
BOSHQARISHNI TAKOMILLASHTIRISH**

Temirova Hilola Rustamjon qizi

Olmaliq Davlat Texnika instituti 3M-24

Foydali qazilma konlarini qazish guruh magistri

ANNOTATSIYA

Maqolada chuqur polimetal konlarini yerosti usulida qazib olish sharoitida ruda sifatini boshqarish muammosi geologik, texnologik, geomekanik va geometallurgik nuqtai nazardan tahlil qilinadi. Tahlil markazida ruda sifatining faqat metall miqdori bilan emas, balki rudaning mineralogik tarkibi, teksturaviy xususiyatlari, zararli aralashmalar, suyultirilish darajasi, logistika jarayonlaridagi aralashish holati hamda boyitishdagi texnologik javobi bilan belgilanadigan murakkab ko'rsatkich ekani turadi. Chuqur qatlamlarda qazib olish jarayonida yuqori tog' bosimi, stope devorlarining beqarorligi, portlatishdan keyingi ortiqcha buzilish, rudaning puch jins bilan aralashuvi, namunalar vakilliligining pasayishi va kon-fabrika zanjiridagi vaqt bo'yicha kechikishlar ruda sifatini boshqarishni murakkablashtiradi. Maqolada rudani sifat bo'yicha boshqarishni takomillashtirish uchun geologik domenlash, moslashtirilgan sampling protokollari, QA/QC tizimi, suyultirilishni geotexnik boshqarish, real vaqtga yaqin kuzatuv, ruda oqimini logistika bo'ylab identifikatsiyalash, geometallurgik model va uzluksiz yangilanadigan grade-control modelini joriy etish zarurligi asoslanadi.

Kalit soʻzlar: chuqur kon, polimetal ruda, ruda sifati, grade control, geometallurgiya, suyultirilish, namuna olish, mine-to-mill, logistika, blok modeli, rudani aralashtirish, yerosti qazib olish.

KIRISH

Chuqur polimetal konlarini qazib olish sharoitida “ruda sifati” tushunchasi anʼanaviy ravishda qabul qilingan oʻrtacha metall miqdori chegarasidan ancha keng mazmunga ega. Zamonaviy yerosti konchilik amaliyotida sifati boshqariladigan obyekt faqat Cu, Pb, Zn, Ag yoki Au foizi emas; ruda oqimining foydali va zararli komponentlar boʻyicha tarkibi, mineral fazalarning oʻzaro nisbatlari, zarralarning boʻshashish darajasi, boyitishdagi selektivlik, maydalanuvchanlik, puch jins bilan aralashish ulushi va zavodga yetib borguncha yuz beradigan aralashish intensivligi ham boshqaruv predmetiga aylanadi. Grade control boʻyicha tadqiqotlarda yerosti konlaridagi sifat boshqaruvi ruda va puch jinsni aniq chegaralash, maʼlumot yigʻish va interpretatsiya qilish, lokal baholash, qazib olishni nazorat qilish, ruda oqimini manzil boʻyicha kuzatish va ombor boshqaruvini qamrab oladigan qaror qabul qilish jarayoni sifatida talqin qilinadi [1][2]. Polimetal obyektlarda masala yanada murakkablashadi, chunki rudaning geokimyoviy va mineralogik oʻzgaruvchanligi boyitish samaradorligiga turlicha taʼsir koʻrsatadi. Garpenbergdagi Zn-Pb-Ag-(Cu-Au) sulfid rudalari boʻyicha tadqiqotlar mineral tarkib va tekstura oʻzgarishi flotatsiya koʻrsatkichlarida sezilarli farqlar keltirib chiqarishini, geologik sinflarni geometallurgik domenlarga aylantirish zarurligini koʻrsatadi [7].

Chuqur konlarda ruda sifatini boshqarish muammosining oʻtkirliqi qazib olish chuqurlashgani sari ortadi. Bunday sharoitda stope devorlarining ortiqcha buzilishi, togʻ jinslari kuchlanish holatining oʻzgarishi, qazish va portlatish sxemasining nomutanosibliqi, yuklash hamda tashish paytidagi selektivlikning pasayishi, bunker va konveyerlardagi aralashish, shuningdek, namuna olishda vakillilikning yoʻqolishi rudaning rejalashtirilgan sifat koʻrsatkichidan ogʻishini kuchaytiradi. Geotexnik dilutsiya nazariyasida suyultirilish past navli jins yoki toʻldirma materialining ruda oqimiga qoʻshilib, foydali qiymatni pasaytirishi sifatida izohlanadi; dilutsiyaga olib keluvchi bosqichlar esa rudaning konturini aniqlashdan tortib, qazish ketma-ketligi, stope tayyorlash, burgʻilash-portlatish, ishlab chiqarish va kon boshqaruvigacha boʻlgan butun zanjirni qamrab oladi [3]. Chuqur oltin konlari misolida oʻtkazilgan mine-to-mill tadqiqotlari ham fragmentatsiya, yerostida ruda toʻplanib qolishi va suyultirilish kon chiqishi hamda zavodga uzatiladigan ruda sifatiga sezilarli taʼsir koʻrsatishini qayd etadi [4]. Demak, ruda sifatini boshqarishni takomillashtirish vazifasi laboratoriya bosqichida emas, qazib olishning boshidan oxirigacha uzluksiz texnologik integratsiya doirasida yechilishi kerak.

TADQIQOT METODOLOGIYASI VA EMPIRIK TAHLIL

Ruda sifatini boshqarishning birinchi tayanchi geologik chegaralash aniqligidir. Chuqur polimetal konlarida foydali komponentlar tarqalishi koʻpincha mayda masshtabda oʻzgaradi; qatlam qalinligi, tomirning uzilishi, metasomatik oʻzgarishlar, sulfid fazalari nisbati, oksidlanish darajasi va yon jins bilan kontakt zonalari keskin farqlanishi mumkin. Ana shunday notekislik fonida anʼanaviy bitta oʻrtacha navga asoslangan baholash qisqa muddatli

kon rejalashtirish uchun yetarli emas. Shu sababli geologik modellashtirish tarkibiga nafaqat metall miqdori, balki boyitish jarayoniga ta'sir etuvchi atributlar ham kiritilishi zarur. Geometallurgik yondashuv aynan ana shu nuqtada muhim: u ruda tanasining fazoviy tuzilishini metallurgik xulq bilan bog'laydi. Murakkab polimetal ruda bo'yicha zamonaviy tadqiqotlar geologik klassifikatsiyani recovery va selectivity bilan bog'langan geometallurgik domenlarga aylantirish ruda turini to'g'ri ajratish va zavod yuklamasini barqarorlashtirishga xizmat qilishini ko'rsatadi [7]. Yerosti konlarida ishlab chiqarish ma'lumotlari asosida doimiy yangilanadigan grade-control modeli esa mineralogiya, geokimyo va qayta ishlash bilan bog'liq ko'rsatkichlarni lokal miqyosda qayta baholash imkonini beradi [6].

Ikkinchi tayanch — namuna olish tizimini rudaning geologik tipiga va qazib olish usuliga moslashtirishdir. Grade control dasturining sifat darajasi, avvalo, olingan namunaning vakilliligi bilan belgilanadi. Dominy va hammualliflar yerosti konlarida namuna olishning chip, channel, panel, muck/grab va burg'ilashga asoslangan turlari mavjudligini, tanlov rudaning morfologiyasi hamda qazish usuliga mos bo'lishi lozimligini qayd etadi [2]. Namuna olishdagi fundamental, delimitatsion, ekstraksion va tayyorlov xatolari bartaraf etilmasa, keyingi barcha lokal baholashlar tizimli og'ishga uchraydi [1]. Ayniqsa, maydalangan rudaning uyumidan yoki puch jins bilan aralashgan massadan tasodifiy tarzda olingan namunalar ko'pincha fines fraksiyani ortiqcha aks ettiradi, yirik bo'laklarning metall tarkibini yetarli qamrab olmaydi va real stope sifati haqidagi tasavvurni buzadi [1][2]. Liphichi loyihasi bo'yicha tadqiqotda ham no-probabilistik "fractional shovelling" usuli kuchli biasga moyil ekani, protokollar qayta ko'rib chiqilgach, maydalash, bo'lish va assay bosqichlarida xatoni kamaytirish mumkinligi ko'rsatilgan [2]. Chuqur polimetal konlarida namuna olishni takomillashtirish uchun minimal qazib olinadigan birlik, fragment o'lchami, namuna massasi, mineral zarralarining yirikligi va fazalar klasterlanishini hisobga olgan maxsus protokol ishlab chiqish zarur.

Uchinchi yo'nalish QA/QC tizimini formal talab darajasidan chiqarib, real boshqaruv instrumentiga aylantirish bilan bog'liq. Ko'plab konlarda standart blank, duplicate va reference material qo'llanadi, biroq natijalarni qisqa muddatli rejalashtirish, ore/waste boundary, stoping sequence va blending qarorlariga bog'lash darajasi past bo'lib qoladi. Yerosti grade control bo'yicha tadqiqotlar namuna olish, tayyorlash va assay zanjirining har bir bosqichi uzluksiz monitoring qilinmasa, lokal resurs bahosi va kon rejaları o'rtasidagi tafovut kuchayishini ko'rsatadi [1][2]. Chuqur polimetal konlarida QA/QC nafaqat analitik aniqlikni, balki ma'lumotning fazoviy to'g'riligini, namuna koordinatasi, qazib olingan blokga bog'lanishi, namuna olingan vaqt va logistika yo'li bo'yicha ham tekshirishi kerak. Aks holda, laboratoriyada aniqlangan yuqori aniqlik amaliy jihatdan foydasiz bo'lib qoladi, chunki natija noto'g'ri blok, noto'g'ri yuk yoki noto'g'ri smena bilan bog'langan bo'ladi. Qisqa muddatli sifat boshqaruvida "ma'lumot sifati" va "ruda sifati" kategoriyalarini ajratmasdan, ularni yagona boshqaruv obyekti sifatida ko'rish maqsadga muvofiqdir [1][6].

NATIJALAR

Chuqur konlarda ko'plab iqtisodiy yo'qotishlar geologik xatodan ko'ra geomekanik va texnologik sabablar bilan yuz beradi. Villaescusa tadqiqotida suyultirilishning manbalari rudani konturlashdagi noaniqlik, stope geometriyasi, qazish ketma-ketligi, tayyorlov ishlari,

burg'ilash va portlatish sifati, ishlab chiqarish intizomi hamda kon boshqaruvidagi kamchiliklar bilan bog'langan [3]. Demak, ruda sifatini boshqarishni takomillashtirish masalasi stope chegaralarini toraytirish bilan cheklanmaydi; u burg'i setkasini optimallashtirish, zaryad konstruksiyasini moslash, portlatish energiyasini nazorat qilish, devorlarning ortiqcha qulashini oldini olish, qazish navbatini geomekanik holatga moslashtirish va konturga yaqin zonalarda selektiv yuklash amaliyotini kuchaytirishni talab etadi. Chuqur kon sharoitida har bir ortiqcha santimetr overbreak bir necha bosqichli yo'qotishga olib keladi: metall miqdori pasayadi, transport qilinadigan massa ortadi, maydalash va boyitish xarajatlari ko'payadi, chiqindi hajmi kengayadi. Sifat boshqaruvining iqtisodiy mazmuni aynan ana shu ko'p pog'onali ta'sirda namoyon bo'ladi [3][4].

Chuqur konlarda ruda sifati ko'pincha kon yuzida to'g'ri baholangan bo'lsa ham, zavod kirimida kutilgan qiymatga teng kelmaydi. Bunga rudaning qazib olinganidan so'ng bunker, ruda yo'llari, LHD, avtotransport va konveyer tizimlari bo'ylab aralashishi, ayrim partiyalarning vaqt bo'yicha kechikishi, nam va quruq massa o'rtasidagi tafovutlar hamda stoklardagi qayta taqsimlanish sabab bo'ladi. Chuqur oltin konlaridagi tadqiqotlarda fragmentatsiya, ruda yo'qotilishi va suyultirilishni alohida emas, yagona mine-to-mill tizimi sifatida ko'rish zarurligi asoslangan [4]. KGHM yerosti mis rudalari bo'yicha tajribada esa frontlardagi channel sample va blok modeli ma'lumotlari yetarlicha aniqlikka ega bo'lsa ham, bunker va konveyerlardagi aralashish sabab zavodga boradigan ozuqa tarkibini oldindan aniq bashorat qilish qiyinligi ko'rsatilgan; muammoni yumshatish uchun RFID va simulyatsion model qo'llanib, keyingi smenadagi ozuqa tarkibini prognoz qilish taklif etilgan [5]. Polimetal konlarida, demak, sifat boshqaruvi "qazib olindi — demak sifat ma'lum" tamoyiliga emas, "qazib olindi, kuzatildi, identifikatsiyalandi, aralashtirish modeli yangilandi, keyin zavodga yo'naltirildi" tamoyiliga asoslanishi kerak.

Chuqur polimetal konlarda bir smena ichida bir nechta frontdan olingan rudalar bir transport magistraliga tushadi, natijada misga boy, ruxga boy, qo'rg'oshinli yoki zararli aralashmalari ko'p bo'lgan partiyalar bir-biriga qo'shilib ketadi. Bunday aralashish zavod sxemasini tezkor sozlash imkoniyatini susaytiradi, reagent sarfini oshiradi, ayrim hollarda selektiv boyitish samaradorligini pasaytiradi. Bardzinski va hammualliflar bunkerlar to'lishi, konveyer oqimining vaqtincha to'xtashi va turli bo'linmalardan kelgan massalarning ketma-ket qo'shilishi ruda sifatini kuzatishni murakkablashtirishini ko'rsatgan [5]. Chuqur polimetal konlarida takomillashtirish yo'li sifatida partiya pasporti, RFID, bunkerlarning raqamli egizagi, transport sikllari bo'yicha vaqt markeri, smena kesimidagi avtomatlashtirilgan blending kartasi va zavodga uzatilishdan oldin rudani qayta tasniflash mexanizmlarini joriy etish talab etiladi. Bunday tizim yordamida o'rtacha navni barqarorlashtirish bilan birga, ma'lum metallurgik xulqqa ega rudani kerakli liniyaga yoki oraliq omborga yo'naltirish mumkin bo'ladi. Natijada sifat boshqaruvi "faqat nazorat" emas, "oqimni boshqarish" darajasiga ko'tariladi [5][6].

XULOSA VA MUNOZARA

Chuqur polimetal konlarini qazib olishda ruda sifatini boshqarishni takomillashtirish faqat tahlil laboratoriyalarining imkoniyatini kengaytirish yoki namunalar sonini ko'paytirish bilan hal etilmaydi. Masala geologik o'zgaruvchanlik, namuna olish vakilliligi, geotexnik

beqarorlik, portlatish natijasidagi suyultirilish, logistika bo'ylab aralashish va boyitishdagi texnologik javob o'rtasidagi murakkab bog'lanishlarni yagona tizimda boshqarishga borib taqaladi. Tahlil qilingan manbalar grade control dasturining tayanchi sifatli va kontekstga mos namuna olish, geologik jihatdan asoslangan lokal modellashtirish, ore/waste oqimini kuzatish, stope geometriyasini nazorat qilish, dilutsiyani minimallashtirish va kon-fabrika zanjirida uzluksiz reconciliation yuritish ekanini ko'rsatadi [1][2][3][4]. Polimetall rudalar bo'yicha geometallurgik tadqiqotlar esa bir xil nav doimo bir xil texnologik natijani bermasligini, rudani geologik klasslar emas, metallurgik xulq nuqtai nazaridan ham boshqarish zarurligini tasdiqlaydi [7].

ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Dominy S.C., Glass H.J., O'Connor L., Lam C.K., Purevgerel S., Minnitt R.C.A. Integrating the Theory of Sampling into Underground Mine Grade Control Strategies // Minerals. – 2018. – Vol. 8, No. 6. – Art. 232. – DOI: 10.3390/min8060232.
- [2] Dominy S.C., Platten I.M., Xie Y., Minnitt R.C.A. Underground grade control protocol design: case study from the Liphichi gold project, Larecaja, Bolivia // Applied Earth Science (Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section B). – 2010. – Vol. 119, No. 4. – P. 205–219. – DOI: 10.1179/1743275811Y.0000000016.
- [3] Villaescusa E. Geotechnical design for dilution control in underground mining // Proceedings of the Seventh International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection. – Calgary: Balkema, 1998. – P. 141–149.
- [4] Xingwana L. Monitoring ore loss and dilution for mine-to-mill integration in deep gold mines: A survey-based investigation // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2016. – Vol. 116, No. 2. – P. 149–160. – DOI: 10.17159/2411-9717/2016/v116n2a6.
- [5] Bardzinski P., Jurdziak L., Kawalec W., Krol R. Copper Ore Quality Tracking in a Belt Conveyor System Using Simulation Tools // Natural Resources Research. – 2020. – Vol. 29. – P. 1031–1040. – DOI: 10.1007/s11053-019-09493-6.
- [6] Prior-Arce A., Benndorf J. Resource Model Updating for Underground Mining Production Settings // REAL TIME MINING – Conference on Innovation on Raw Material Extraction. – Amsterdam, 2017. – P. 130–140.
- [7] Tiu G., Ghorbani Y., Jansson N., Wanhainen C., Bolin N.-J. Quantifying the variability of a complex ore using geometallurgical domains // Minerals Engineering. – 2023. – Vol. 203. – Art. 108323. – DOI: 10.1016/j.mineng.2023.108323.