

MURAKKAB TARKIBLI SULFIDLI RUDALARNI KUYDIRISH JARAYONIDAGI FIZIK-KIMYOVIY O‘ZGARISHLAR

Vaxobov Javohir Valijon o‘g‘li
Umirov Farxod Ergashovich
Sharipov San‘at Shuhratovich

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti
vakhobovjavohira@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0004-0647-0238>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18977361>

Annotatsiya: Maqolada murakkab tarkibli oltin saqlovchi sulfidli rudalarni kuydirish jarayonida sodir bo‘ladigan asosiy fizik-kimyoviy o‘zgarishlar tizimli ravishda tahlil qilingan. Tadqiqotlarda termik ishlov berish natijasida sulfid minerallarining kristall panjarasi buzilishi, oltingugurtning SO₂ va boshqa gazsimon birikmalar holatida ajralib chiqishi hamda oltinning sulfid va alyumosilikat matritsadan ochilishi mexanizmlari yoritib berilgan. Kuydirish jarayonining termodinamik shartlari, harorat ta‘sirida yuz beradigan fazaviy o‘zgarishlar, oraliq oksid va sulfat birikmalarning hosil bo‘lishi hamda yakuniy mahsulotlarning tarkibi va xossalari muhokama qilingan. Olingan natijalar oltin ajratib olish samaradorligini oshirish va keyingi gidrometallurgik jarayonlarni optimallashtirish uchun ilmiy-amaliy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: oltin saqlovchi sulfidli rudalar; kuydirish jarayoni; fizik-kimyoviy o‘zgarishlar; fazaviy o‘zgarishlar; oltingugurtning oksidlanishi; termodinamik tahlil; oltinning ochilishi; oraliq birikmalar.

Аннотация: В статье проведён системный анализ основных физико-химических процессов, протекающих при обжиге сложных по составу золотоносных сульфидных руд. Показано, что термическая обработка приводит к разрушению кристаллической решётки сульфидов, окислению серы с переходом её в газовую фазу в виде SO₂, а также к вскрытию золота из сульфидной и алюмосиликатной матрицы. Рассмотрены термодинамические условия процесса обжига, фазовые превращения при повышенных температурах, образование промежуточных оксидных и сульфатных соединений, а также формирование конечных продуктов. Полученные результаты могут быть использованы для повышения эффективности извлечения золота и оптимизации последующих гидromеталлургических процессов.

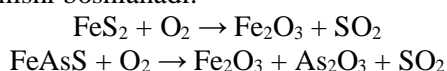
Ключевые слова: золотоносные сульфидные руды; обжиг; физико-химические процессы; фазовые превращения; окисление серы; термодинамика; вскрытие золота.

Abstract: This paper presents a systematic analysis of the main physicochemical transformations occurring during the roasting of complex gold-bearing sulfide ores. It is shown that thermal treatment leads to the destruction of the sulfide crystal lattice, oxidation of sulfur with its transfer into the gas phase in the form of SO₂, and liberation of gold from sulfide and aluminosilicate matrices. Special attention is paid to the thermodynamic conditions of the roasting process, temperature-dependent phase transformations, formation of intermediate oxide and sulfate compounds, and the characteristics of final solid products. The obtained results provide a scientific basis for improving gold recovery efficiency and optimizing subsequent hydrometallurgical processing stages..

Keywords: gold-bearing sulfide ores; roasting process; physicochemical transformations; phase transformations; sulfur oxidation; thermodynamics; gold liberation.

Murakkab tarkibli sulfidli rudalar keng tarqalgan bo‘lib, qimmatbaho metallarni olishning muhim manbai hisoblanadi. Biroq tarkibida pirit (FeS₂), xalkopirit (CuFeS₂), arsenopirit (FeAsS) kabi oltingugurtli minerallar mavjudligi ularni oldindan termik ishlov berishni — kuydirishni talab qiladi. Kuydirishning maqsadi sulfid matritsasini parchalanishiga erishish va oltinni keyingi metallurgik qayta ishlash uchun ajratib olishdan iborat.

Kuydirishning fizik-kimyoviy jarayonlari: Sulfidli rudalarni kuydirish — bu 400–800 °C haroratda kislorod ishtirokida kechadigan murakkab fizik-kimyoviy jarayondir. Dastlabki bosqichda rudaning quritilishi va minerallarning degidratatsiyasi (suvdan ajralishi) amalga oshadi. Keyingi bosqichda esa sulfidlarning oksidlanishi boshlanadi:



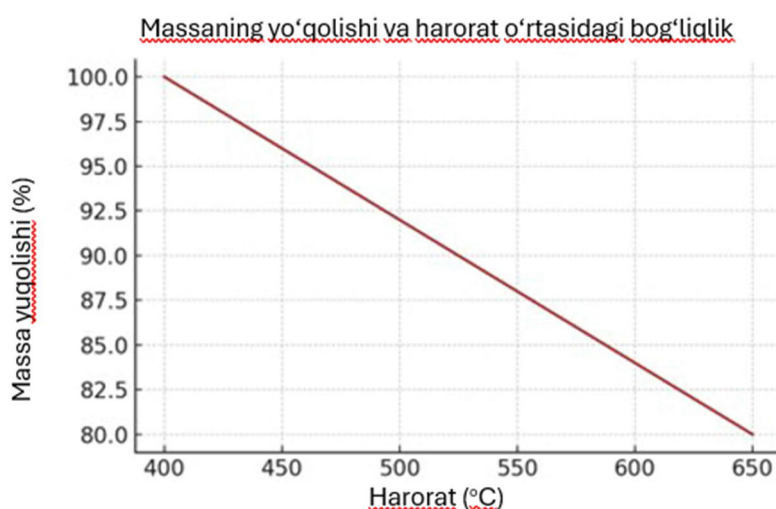
“Ilmiy tadqiqotlarni amaliyotga joriy qilishning muammo va yechimlari” mavzusidagi onlayn xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallar to‘plami. NamDU - 2026-yil 20-21-fevral

Gazsimon komponentlarning ajralib chiqishi donalarning g‘ovaklanishi va yorilishiga olib keladi, bu esa oltinning ajralib chiqishini osonlashtiradi. Yuqoriroq haroratlarda kuydirish mahsulotlari o‘rtasida reaksiyalar kechib, shpinellar, silikatlar va arsenatlar hosil bo‘lishi mumkin.

Termodinamik jihatlar: Sulfidlarning oksidlanish reaksiyalari ekzotermik bo‘lib, jarayonning o‘z-o‘zidan davom etadigan avtotermik rejimini ta‘minlashi mumkin. Standart entalpiya va erkin energiyaning o‘zgarishlari bo‘yicha hisoblangan qiymatlar pirit va arsenopiritning oksidlanish reaksiyalari 300–600 °C oralig‘ida o‘z-o‘zidan kechishini ko‘rsatadi. Biroq As₂O₃ (arsen(III) oksidi) hosil bo‘lishini uning toksikligi sababli qat’iy nazorat qilish zarur.

Fazaviy o‘zgarishlar: Kuydirish jarayonida metallar sulfid shaklidan oksid yoki sulfat shakliga o‘tadi. Harorat va kislorodning qisman bosimiga qarab Fe₂O₃, CuO, FeAsO₄ va boshqa fazalar hosil bo‘lishi mumkin. Ularning ayrimlari sovutilish jarayonida amorf yoki shishasimon (shakarsimon) holatlarga o‘tishi mumkin.

Sulfidlarning oksidlanish reaksiyalari ekzotermik bo‘lib, jarayonning o‘z-o‘zidan davom etadigan avtotermik rejimini ta‘minlashi mumkin. Standart entalpiya va erkin energiyaning o‘zgarishlari bo‘yicha hisoblangan qiymatlar pirit va arsenopiritning oksidlanish reaksiyalari 300–600 °C oralig‘ida o‘z-o‘zidan kechishini ko‘rsatadi.



1-rasm. Piritning termogravimetrik egri chizig‘i

Grafik oltin saqlovchi sulfidli rudaning 400 dan 650 °C gacha bo‘lgan isitish jarayonida massa o‘zgarishini aks ettiradi. Egri chiziq taxminan 20% ga massaning asta-sekin kamayishini ko‘rsatadi, bu minerallarni termik parchalanishi bilan bog‘liq.

1. Boshlang‘ich harorat (400–450 °C):

Bu bosqichda osongina bug‘lanadigan komponentlar va namlik parchalanishi boshlanadi. Sulfidlarning barqaror tuzilishi (masalan, pirit) hali saqlanib qoladi, ammo qisman oksidlanish jarayoni boshlanishi mumkin.

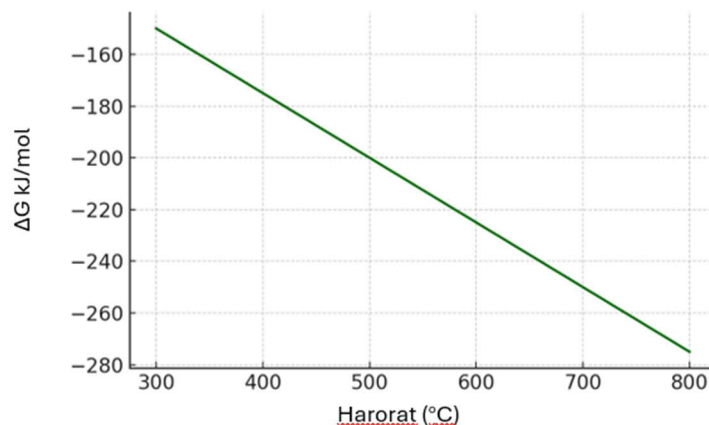
2. O‘rta interval (450–600 °C):

Massa yo‘qotishning asosiy bosqichi. Sulfidlarning metall oksidlariga (Fe₂O₃, CuO va boshqalar) oksidlanish jarayonlari faol ravishda kechadi va gazsimon mahsulotlar ajraladi: SO₂, As₂O₃ va boshqalar. Massa yo‘qotilishi osongina bug‘lanadigan birikmalarning chiqarilishi va kristall panjaraning buzilishi bilan bog‘liq.

3. Yakuniy bosqich (600–650 °C):

Massaning kamayishi sekinlashadi — bu asosiy degazatsiya jarayonlarining yakunlanishini ko‘rsatadi. Modda barqarorlashadi va haroratning keyingi oshishi massa yo‘qotilishiga sezilarli ta‘sir ko‘rsatmaydi.

Massaning umumiy kamayishi (~20%) sulfidli rudalarga xos, ayniqsa arsenopirit va piritdagi osongina bug‘lanadigan komponentlarning yuqori miqdorini ko‘rsatadi. Ushbu termogravimetrik tahlil oltinni samarali ajratish maqsadida quymo uchun optimal harorat rejimini aniqlash imkonini beradi.



2-rasm. ΔG° piritning oksidlanishi

Xulosa. Piritli va murakkab tarkibli sulfidli rudalarni kuydirish jarayonini termogravimetrik va termodinamik tahlil qilish natijalari jarayonning samarali kechishi uchun muhim qonuniyatlarni aniqlash imkonini berdi. Termogravimetrik egri chiziq (1-rasm) 400–650 °C harorat oralig‘ida rudaning massasi taxminan 20 % ga kamayishini ko‘rsatdi, bu sulfidlarning ketma-ket oksidlanishi, oltingugurt va uchuvchan komponentlarning gaz fazasiga o‘tishi hamda kristall panjaraning buzilishi bilan bog‘liq. Ayniqsa, 450–600 °C oralig‘ida massa yo‘qotilishining keskin ortishi piritning faol parchalanishi va metall oksidlarining shakllanishi bilan izohlanadi. Termodinamik tahlil natijalari (2-rasm) piritning oksidlanish reaksiyasi uchun Gibbs erkin energiyasining harorat oshishi bilan manfiy qiymatlar tomonga siljishini ko‘rsatdi. ΔG° ning butun ko‘rib chiqilgan harorat oralig‘ida manfiy bo‘lishi jarayonning termodinamik jihatdan o‘z-o‘zidan kechishini va yuqori haroratlarda reaksiyaning barqarorligini tasdiqlaydi. Bu holat kuydirish jarayonining avtotermik rejimda davom etish imkoniyatini ham asoslaydi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, 500–600 °C harorat oralig‘i piritli sulfidli rudalarni kuydirish uchun optimal hisoblanib, bu sharoitda sulfid matritsasining maksimal darajada parchalanishi va oltinning ochilishi ta‘minlanadi. Ushbu ilmiy xulosalar keyingi gidrometallurgik bosqichlarda oltinni samarali ajratib olish texnologiyalarini ishlab chiqishda muhim nazariy va amaliy ahamiyatga ega.

Murakkab tarkibli oltin saqlovchi sulfidli rudalarni kuydirish jarayoni termik parchalanish, oksidlanish, fazaviy o‘zgarishlar va yangi birikmalar hosil bo‘lishi bilan kechadigan murakkab fizik-kimyoviy jarayondir. Ushbu jarayonlarning chuqur tahlili issiqlik bilan ishlov berish rejimlarini optimallashtirish, oltinning ochilish darajasini oshirish va umumiy metallurgik samaradorlikni yaxshilash uchun muhim ilmiy-amaliy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Adabiyotlar ro‘yxati

1. Chernyshov G.V. va boshqalar. Sulfidli rudalarning oksidlanishining termodinamika va kinetikasi. *Journal of Mining Science*, 2016.
2. Korzhinsky D.S. Ruda hosil bo‘lish jarayonlarining geokimyosi. Moskva: Nauka, 1982.
3. Thomas K.G. Oltin saqlovchi rudalarni quymo: sharh. *Hydrometallurgy*, 2003.
4. Marsden J., House C. Oltin ajratish kimyosi. SME, 2006.
5. Zhukov B.A. Arsenopiritning issiqlik xatti-harakatlari va oltinni ajratishga ta‘siri. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2019.