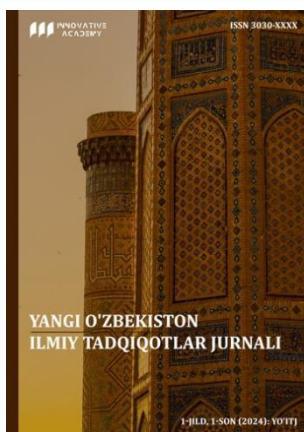




OLTIN RUDALARINI FLOTATSIYA-SORBSIYA USULIDA QAYTA ISHLASH: KOLLEKTORLARNING ADSORBSIYASI, FLOTATSIYA MEXANIZMLARI VA OLTIN AJRATIB OLISH SAMARADORLIGI

Abduvaitova Noila Rashidovna

3-Mis boyitish fabrikasi Reagent sexi

Reagent erituvchisi

E-mail: abduvaitovanoila57@gmail.com

ORCID:0009-0000-9075-8330

<https://doi.org/10.5281/zenodo.22302634>

ARTICLE INFO

Qabul qilindi: 12-avgust 2026 yil
Ma'qullandi: 15-avgust 2026 yil
Nashr qilindi: 31-avgust 2026 yil

KEY WORDS

oltin rudasi; flotatsiya; sorbsiya;
kollektor; ksantogenat;
ditiofosfat; adsorbsiya;
arsenopirit; pirit; gidrofoblanish;
flotatsion konsentrat; sianlash;
oltin ajratib olish; reagentlar
sinergiyasi; mineral yuzasi;
texnologik sxema.

ABSTRACT

Oltin rudalarini qayta ishlashda mineral tarkibning murakkabligi, oltinning sulfidli minerallar bilan bog'langanligi, zarracha o'lchamining maydalanishi hamda sirt-kimyoviy xususiyatlarning o'zgaruvchanligi yuqori darajadagi ajratib olish ko'rsatkichlariga erishishni murakkablashtiradi. Ayniqsa, arsenopirit, pirit va boshqa sulfidli minerallar bilan assotsiatsiyalangan oltinni dastlab flotatsiya orqali boyitish, keyinchalik hosil bo'lgan konsentratni sianlash yoki sorbsion usulda qayta ishlash istiqbolli texnologik yondashuvlardan biri hisoblanadi. Mazkur maqolada oltin saqlovchi rudalarni flotatsiya-sorbsiya asosida qayta ishlashda kollektorlarning mineral yuzasida adsorbsiyalanishi, yuzaning gidrofoblanishi, kollektor tizimlarining sinergik ta'siri hamda flotatsiyadan keyingi gidrometallurgik bosqichlarning o'zaro bog'liqligi tahlil qilinadi.

KIRISH. Oltin saqlovchi rudalarni qayta ishlashda asosiy texnologik muammo metallni shunchaki ajratib olish emas, balki uni ruda massasining murakkab mineral tarkibidan imkon qadar kam yo'qotish bilan konsentrlash va keyingi gidrometallurgik bosqichda yuqori darajada eritmaga o'tkazishdan iborat. Tabiiy oltin va elektrumning flotatsiyasi bo'yicha keng qamrovli sharhda oltin miqdori va zarracha o'lchamining juda keng diapazoni qayd etilgan; bu esa universal bitta texnologik rejim mavjud emasligini ko'rsatadi. [1]

Flotatsiya ayniqsa oltinning pirit, arsenopirit va boshqa sulfid minerallari bilan assotsiatsiyalangan holatlarida muhim boyitish bosqichiga aylanadi. Kollektorlar mineral sirtini gidrofoblashtirib, oltin tashuvchi fazani ko'pik mahsulotiga o'tkazishga yordam beradi. Biroq flotatsion recovery yuqori bo'lishining o'zi yakuniy metall ajratib olishni kafolatlamaydi: kollektor qoldiqlari keyingi sianlashda oltin sirtining elektrokimyoviy holatini o'zgartirishi mumkin. [1,3]

Mavjud tadqiqotlarda kollektorlarning flotatsiyadagi samaradorligi va sianlashning alohida parametrlari yetarlicha o'rganilgan bo'lsa-da, flotatsiya-sianlash-sorbsiya zanjirining o'zaro ta'siri amaliy jihatdan yanada chuqurroq tahlilni talab qiladi. Shu sababli ushbu ishning maqsadi turli ilmiy manbalardagi natijalarni yagona texnologik nuqtai nazardan qiyoslash, kollektor tizimi, zarracha o'lchami va sianlash sharoitlarining oltin recovery ga ta'sirini aniqlash hamda flotatsiya-sorbsiya sxemasini takomillashtirish uchun ilmiy asoslangan xulosalar ishlab chiqishdan iborat.

ADABIYOTLAR TAHLILI

Allan va Woodcock oltin va elektrum flotatsiyasi bo'yicha fundamental sharhida oltinning mineralogik mavjudlik shakli, sirt xususiyatlari va kollektor bilan o'zaro ta'siri flotatsiya natijasini belgilashini ko'rsatgan. Ularning ma'lumotlari oltin zarrachalarining juda keng o'lcham diapazonida uchrashini qayd etadi. Bu holat maydalash va ochish darajasini texnologik sxemaning boshlang'ich parametri sifatida ko'rishga asos beradi. [1]

Xing va hammualliflarning 2025-yildagi tadqiqoti kollektor komponentlarini aralashtirishning sinergik imkoniyatini ko'rsatadi. W8+ADD tizimi real arsenopirit tipidagi oltin rudasida 84,06% Au recovery bergan. Sof arsenopirit tajribalarida esa SPX va SAX alohida qo'llanganda 37,5% va 45,8% recovery olingan bo'lsa, SPX:SAX=1:4 aralashmasida 73,5% ga erishilgan. [2] Bu natijalar kollektor samaradorligini faqat reagent miqdori bilan emas, uning sirtga adsorbsiyasi va kollektor komponentlari o'rtasidagi o'zaro ta'sir bilan baholash kerakligini ko'rsatadi.

Bas va Larachi flotatsiya kollektorlarining oltinning sianidida elektrokimyoviy erishiga ta'sirini o'rgangan. Ularning natijalari ayrim kollektor qoldiqlari oltin sirtini qisman passivlashi mumkinligini, pirit mavjudligida esa galvanik o'zaro ta'sir oltin erishini yaxshilashi mumkinligini ko'rsatgan. [3] Shunday qilib, flotatsiyada samarali kollektor keyingi sianlashda ham avtomatik ravishda optimal reagent degan xulosaga kelish noto'g'ri bo'ladi.

Yussupova va hammualliflar flotatsion konsentratni sianlash jarayonini matematik modellashtirib, zarracha o'lchami, NaCN konsentratsiyasi va vaqtning ta'sirini baholagan. 10 mkm, 0,1% NaCN va 20 soat sharoitida 86,7% oltin ekstraksiyasi qayd etilgan. [5] Bu natija reagent konsentratsiyasini cheksiz oshirishdan ko'ra, mineralning ochilishi va optimal zarracha o'lchamini ta'minlash muhimligini ko'rsatadi.

O'zbekiston va Markaziy Osiyo tadqiqotlarida ham oltin saqllovchi murakkab xomashyolarni flotatsiya, sianlash va oksidlovchi oldindan ishlov berish orqali qayta ishlash masalalari o'rganilmoqda. Ushbu ishlar mahalliy xomashyoning mineralogik o'ziga xosligini hisobga olgan holda texnologik rejimlarni moslashtirish zarurligini ko'rsatadi. [6-10]

Jadval 1. Asosiy adabiyotlarning qiyosiy tahlili

Muallif, yil	Obyekt	Asosiy omil	Asosiy natija
Allan, Woodcock, 2001	Tabiiy oltin/elektrum	Mineralogiya, flotatsiya	Keng zarracha va Au tarkibi diapazoni; flotatsiya mexanizmlari tizimlashtirilgan
Xing va b., 2025	Arsenopirit tipidagi Au rudasi	Aralash kollektor	W8+ADD: 84,06% Au recovery
Bas, Larachi, 2019	Oltin-pirit tizimi	Kollektor va sianlash	Kollektor qoldig'i salbiy; pirit galvanik ta'siri ayrim sharoitlarda ijobiy

Yussupova va b., 2025	Flotatsion konsentrat	Zarracha, NaCN, vaqt	10 mkm + 0,1% NaCN + 20 soat: 86,7% ekstraksiya
-----------------------	-----------------------	----------------------	--

TADQIQOT MATERIALLARI VA METODLARI

Tadqiqot adabiyotlar asosidagi qiyosiy ilmiy-tahliliy yondashuvda olib borildi. Manbalarni tanlashda oltin flotatsiyasi, kollektor adsorbsiyasi, arsenopirit va piritning flotatsion xususiyatlari, flotatsion konsentratning sianlanishi va sorbsiya bosqichiga bevosita aloqador ilmiy ishlar ustuvor qilindi. IMRAD yondashuvida metod bo'limi tadqiqot qanday o'tkazilgani va nima sababdan aynan shu yondashuv tanlanganini tushuntirishi kerak; natijalar esa alohida berilib, muhokamada avvalgi ishlar bilan qiyoslanadi. [11–13]

Tahlil uch bosqichda bajarildi. Birinchi bosqichda ruda mineralogiyasi, oltinning mavjudlik shakli va zarracha o'lchami bilan bog'liq ilmiy ma'lumotlar ajratildi. Ikkinchi bosqichda kollektor tizimlari bo'yicha recovery, adsorbsiya va sirt xususiyatlari taqqoslandi. Uchinchi bosqichda flotatsion konsentratni sianlashga oid NaCN konsentratsiyasi, zarracha o'lchami va vaqt parametrlari umumlashtirildi. Raqamli ko'rsatkichlar foiz punktlari va nisbiy koeffitsiyentlar orqali qiyoslandi; yangi tajriba natijasi sifatida talqin qilinmaydi.

Asosiy hisoblash mezonlari quyidagicha qabul qilindi: foiz punktlaridagi farq $\Delta R = R_2 - R_1$; nisbiy ustunlik $K = R_2 / R_1$. Shu bilan birga, turli rudalar va laboratoriya sharoitlaridan olingan natijalarni to'g'ridan-to'g'ri bir xil tajriba sifatida talqin qilishdan saqlanildi.

NATIJALAR

Kollektor tizimining ta'siri

Xing va hammualliflar ma'lumotlarida W8+ADD real ruda sharoitida 84,06% Au recovery bergan. Sof arsenopirit tajribalarida SPX:SAX=1:4 tizimining 73,5% recovery ko'rsatkichi SPX ning 37,5% natijasidan 36,0 foiz punktga, ya'ni taxminan 1,96 baravar yuqori bo'lgan. SAX bilan taqqoslaganda esa o'sish 27,7 foiz punktni tashkil qilgan. [2]

Jadval 2. Kollektor tizimlarining qiyosiy natijalari

Kollektor tizimi	Recovery, %	Taqqoslash
SPX	37,5	Bazaviy
SAX	45,8	SPX ga nisbatan +8,3 foiz punkt
SPX:SAX=1:4	73,5	SPX ga nisbatan +36,0 foiz punkt; ≈1,96 marta
W8+ADD, real ruda	84,06	Real ruda tajribasi

Flotatsiya va sianlash o'rtasidagi bog'liqlik

Flotatsiya bosqichida hosil bo'lgan konsentratning keyingi sianlanish xususiyati kollektorning sirtga adsorbsiyasi bilan bog'liq. Bas va Larachi natijalari ayrim kollektorlarning oltin yuzasida saqlanib qolishi sianlash kinetikasini susaytirishi mumkinligini ko'rsatadi. Shu bilan birga, pirit mavjudligi galvanik o'zaro ta'sir orqali oltinning erishini yaxshilashi mumkin. [3] Shuning uchun flotatsiya recovery si bilan sianlash ekstraksiyasini alohida emas, umumiy texnologik zanjirda baholash lozim.

Zarracha o'lchamining sianlashdagi roli

Yussupova va hammualliflar tadqiqotida 10 mkm zarracha o'lchami, 0,1% NaCN va 20 soatlik sianlash sharoitida 86,7% oltin ekstraksiyasi qayd etilgan. NaCN konsentratsiyasini 0,1% dan

0,2% gacha oshirishning qo'shimcha samarasi taxminan 0,3 foiz punkt bilan cheklangan. [5] Bu natija jarayonni optimallashtirishda reagent miqdorini oshirishdan oldin mineralning ochilish darajasi va massa almashinuvi sharoitlarini yaxshilash kerakligini ko'rsatadi.

Jadval 3. Sianlashning asosiy texnologik parametrlari

Parametr	Qiymat	Natija
Zarracha o'lchami	10 mkm	Optimal sharoit
NaCN	0,1%	86,7% ekstraksiya sharoitida
Sianlash vaqti	20 soat	86,7% ekstraksiya sharoitida
NaCN 0,1→0,2%	+0,1 foiz punkt	≈+0,3 foiz punkt qo'shimcha samaradorlik

Sxema 1. Flotatsiya–sianlash–sorbsiya texnologik ketma-ketligi



MUHOKAMA

Natijalar uchta o'zaro bog'liq xulosani ko'rsatadi. Birinchidan, kollektor tizimining tarkibi mineral yuzasidagi gidrofoblanish va flotatsion recovery ni sezilarli o'zgartiradi. Ikkinchidan, flotatsiyada yuqori recovery beruvchi reagent keyingi sianlash uchun har doim ham optimal bo'lavermaydi. Uchinchidan, sianlashda zarracha o'lchami va massa almashinuvi reagent

konsentratsiyasidan kam bo'lmagan, ayrim sharoitlarda esa ustun ahamiyatga ega bo'lishi mumkin. [1–5]

Mualliflik tahliliga ko'ra, bu uch omilni birgalikda optimallashtirish oltin recovery ni alohida bosqichlar bo'yicha maksimal qilishdan ko'ra ilmiy jihatdan asosliroq. Masalan, W8+ADD tizimining 84,06% real ruda recovery si yuqori ko'rsatkich bo'lsa-da, bu natijani 86,7% sianlash ekstraksiyasi bilan oddiy arifmetik tarzda qo'shib bo'lmaydi: ular turli bosqichlar va turli tajriba sharoitlariga tegishli. Bunday natijalarni umumiy texnologik modelda metall balansi orqali baholash kerak.

Tadqiqotning cheklovi shundaki, maqola turli mualliflar tomonidan turli ruda, reagent sarfi va apparat sharoitlarida olingan natijalarni qiyoslaydi. Shuning uchun keltirilgan foizlar bir xil laboratoriya protokolidagi olingan yagona tajriba seriyasi sifatida emas, texnologik tendensiyalarni ko'rsatuvchi dalillar sifatida qaraladi. Kelgusida Daugiztov kabi mahalliy oltin rudalarida bir xil ruda namunasi asosida kollektor–flotatsiya–sianlash–sorbsiya tajribalarini ketma-ket o'tkazish bu xulosalarni bevosita tekshirish imkonini beradi.

XULOSA

O'tkazilgan ilmiy-tahliliy qiyoslash oltin rudalarini flotatsiya-sorbsiya usulida qayta ishlash samaradorligi bitta reagent yoki bitta operatsiya bilan belgilanmasligini ko'rsatdi. Mineralogik tarkib, oltinning mavjudlik shakli, zarracha o'lchami, kollektorning sirtga adsorbsiyasi va flotatsiyadan keyingi sianlash sharoitlari yagona tizim sifatida qaralgandagina texnologik jarayonning haqiqiy samaradorligi to'g'ri baholanadi.

Aralash kollektor tizimlari bo'yicha natijalar sinergik ta'sirning amaliy ahamiyatini ko'rsatdi: SPX:SAX=1:4 tizimida arsenopirit recovery 73,5% ga yetgan, W8+ADD esa real arsenopirit tipidagi oltin rudasida 84,06% Au recovery bergan. Shu bilan birga, kollektorning flotatsiyadagi ijobiy ta'siri keyingi sianlashda ehtimoliy passivlanish bilan muvozanatlashishi mumkin. Demak, reagent tanlashda flotatsiya bilan birga keyingi gidrometallurgik bosqich ham hisobga olinishi lozim.

Sianlash natijalari esa optimal zarracha o'lchamini ta'minlashning muhimligini ko'rsatdi. 10 mkm, 0,1% NaCN va 20 soat sharoitida 86,7% ekstraksiya qayd etilgani, NaCN miqdorini oshirishning cheklangan qo'shimcha samara bergani bilan birga, texnologik optimallashtirishni faqat reagent sarfini ko'paytirishga qurmaslik kerakligini ko'rsatadi. [5]

Umuman, oltin rudalarini qayta ishlashning istiqbolli modeli mineralogik diagnostika, optimal maydalash, kollektor tizimini tanlash, selektiv flotatsiya, konsentratni tayyorlash, sianlash va sorbsiyani o'zaro bog'langan jarayonlar sifatida boshqarishga asoslanishi kerak. Mualliflik nuqtai nazaridan, aynan shu yondashuv murakkab va past navli oltin rudalarida oltin yo'qotilishini kamaytirish, reagent sarfini nazorat qilish va umumiy metall balansini yaxshilash uchun eng asosli yo'nalishlardan biridir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Allan G.C., Woodcock J.T. A review of the flotation of native gold and electrum // Minerals Engineering. 2001. Vol. 14, No. 9. P. 931–962. DOI: 10.1016/S0892-6875(01)00103-0.
2. Xing Q., Li F., Ming P., Wang Z. Enhanced Recovery of an Arsenopyrite-Type Gold Ore: Flotation Surface Chemistry and Kinetics of Blended Collector W8 with ADD // Colloids and Interfaces. 2025. Vol. 9, No. 6. Article 76. DOI: 10.3390/colloids9060076.

3. Bas A.D., Larachi F. The effect of flotation collectors on the electrochemical dissolution of gold during cyanidation //Minerals Engineering. 2019. Vol. 130. P. 48–56. DOI: 10.1016/j.mineng.2018.10.003.
4. Guo B., Peng Y., Mai Y. The effect of zinc cyanide on the flotation of gold from pyritic ore // Minerals Engineering.2016. Vol. 85. P. 106–111. DOI: 10.1016/j.mineng.2015.10.023.
5. Yussupova Zh.A., Dosmukhamedov N.K., Kaplan V.A., Zholdasbay Ye.Ye., Icheva Yu.B. A mathematical model of thecyanidation process for the flotation concentrate of the gold deposit of Central Kazakhstan // Metallurgist. 2025. Vol. 69, No. 1. P. 166–173. DOI: 10.1007/s11015-025-01928-1.
6. Koizhanova A.K., Berkinbayeva A.N., Magomedov D.R. et al. Study of the Technology for Gold Recovery fromGravity-Flotation Concentrate from Ore Beneficiation with the use of Oxidizing Reagents // Journal of The Institution of Engineers (India): Series D. 2022. Vol. 103. P. 663–672. DOI: 10.1007/s40033-022-00366-6.
7. Kenzhaliyev B.K., Surkova T., Koizhanova A., Yessimova D., Amanzholova L., Dosymbayeva Z. Study of the CyanideLeaching of Gold from Low-Grade Raw Materials in the Presence of Amino Acids // Inorganics. 2023. Vol. 11, No. 12. Article 461. DOI: 10.3390/inorganics11120461.
8. Kenzhaliyev B.K., Tussupbayev N.K., Abdykirova G.Zh. et al. Evaluation of the Efficiency of Using an Oxidizer in theLeaching Process of Gold-Containing Concentrate // Processes. 2024. Vol. 12, No. 5. Article 973. DOI: 10.3390/pr12050973.
9. Tolstov E.A., Prokhorenko G.A., Brownlee J. Heap leaching of gold from off-balance ore of the Muruntau open pit atthe Zarafshan-Newmont joint venture // Tsvetnye Metally. 2002. No. 7. P. 53–56.
10. Kakharov A.K., Revazashvili B.I. Heap leaching of gold-containing ores of Uzbekistan // Voprosy teorii i praktikipererabotki syr'ya i produktov tsvetnoy metallurgii Kazakhstana. 2018. P. 108–112.
11. George Mason University Writing Center. Scientific (IMRaD) Research Reports: Introductions, Methods, Results andDiscussion. IMRaD writing guidance.
12. University of British Columbia. IMRAD (Introduction, Methods, Results and Discussion). Science Writing Resources.
13. University of Southern Denmark. The IMRaD Structure. Academic writing guidance.