

UO‘K: 622.765.061:622.343

 10.70769/3030-3214.SRT.4.3.2026.14

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

OKSIDLANISHGA UCHRAGAN MIS PORFIR MA'DANLARNI FAOLLASHTIRUVCHI REAGENT BILAN FLOTATSIYALASH MEKANIZMINI O'RGANISH



**Maxmarejabov Dilmurod
Baxtiyarovich**

*Texnika fanlari doktori, dotsent,
O'zbekiston Respublikasi Prezidenti
Administratsiyasi huzuridagi Ta'lim
sifatini ta'minlash milliy agentligi
bosh inspektori, Toshkent,
O'zbekiston
E-mail: dmahmarejabov@mail.ru
Science ID: FQD-0425-0018*



**Abdurasulova Zarina
Xusniddinovna**

*Islom Karimov nomidagi Toshkent
davlat texnika universiteti,
Toshkent, O'zbekiston,
E-mail:
zarinaabdurasulova77@gmail.com
ORCID ID: 0009-0006-2687-9916
Science ID: MTV-0525-0043*



**Botirov Mirmuxsin
Sherali o'g'li**

*"Mineral resurslar institute" DM
Kichik ilmiy xodim, Toshkent,
O'zbekiston
E-mail: mirmuxsin1994@mail.ru
ORCID ID: 0009-0007-0280-8563
Science ID: MSN-0525-0168*



**Sodiqov Farrux Sobirjon
o'g'li**

*"Mineral resurslar instituti" DM
kichik ilmiy xodimi, Toshkent,
O'zbekiston,
E-mail: sobirovich.fs@mail.ru
ORCID ID: 0009-0002-7637-954X
Science ID: MFR-0525-0078*

Annotatsiya. Laboratoriya sinovlari davomida ushbu gidrofil oksidlangan minerallar yuzasida anion almashinuvi mexanizmi asosida o'ta yupqa sun'iy kovellinsimon (CuS) parda hosil qilish uchun NaHS (natriy gidrosulfid) reagentining turli dozalari ta'siri o'rganildi. Tajribalar natijasiga ko'ra, NaHS ning maqbul (optimal) sarf miqdori 350 g/t deb belgilandi va ushbu nuqtada boyitma sifati maksimal 20,52% Cu ga, metallning ajralib olish darajasi (izvlecheniye) esa 71,52% ga yetishi, chiqindidagi mis miqdori esa 0,036% gacha kamayishi isbotlandi. Reagent sarfi 600 g/t gacha oshirilganda, pulpadagi erkin gidrosulfid ionlarining ko'payishi va to'plovchi ksantogenat adsorbsiyasining bloklanishi (depressiya effekti) hisobiga ajralish ko'rsatkichi 49,22% gacha keskin pasayishi aniqlandi. Olingan natijalar asosida, reagentlarning salbiy depressiya effektini bartaraf etish va pulpa elektrokimyoviy salohiyatini (Eh) doimiy boshqarish uchun sanoatda CPS (Controlled Potential Sulphidisation) avtomatlashtirilgan texnologiyasini joriy etishning ilmiy zaruriyati to'liq asoslab berildi.

Kalit so'zlar: aralash mis rudasi, fazaviy tahlil, flotatsiya, faollashtiruvchi reagent, natriy gidrosulfid (NaHS), CPS texnologiyasi, metall ajratib olish, depressiya effekti.

Received: 23.07.2026

Accepted: 23.08.2026

Issue publication: 28.09.2026

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ФЛОТАЦИИ ПОДВЕРГШИХСЯ ОКИСЛЕНИЮ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ РУД С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕАГЕНТА-АКТИВАТОРА

**Махмарежабов
Дилмурод
Бахтиярович**

Доктор технических наук,
доцент, главный инспектор
Национального агентства по
обеспечению качества
образования при Администрации
Президента Республики
Узбекистан, Ташкент,
Узбекистан

**Абдурасулова Зарина
Хусниiddinovna**

Ташкентский государственный
технический университет имени
Ислама Каримова, Ташкент,
Узбекистан

**Ботиров Мирмухсин
Шерали угли**

Младший научный сотрудник ГУ
«Институт минеральных
ресурсов», Ташкент, Узбекистан

**Садиков Фаррух
Собиржон угли**

Младший научный сотрудник ГУ
«Институт минеральных
ресурсов», Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В ходе лабораторных исследований изучено влияние различных дозировок реагента NaHS (гидросульфид натрия) на формирование ультратонкой искусственной ковеллиноподобной (CuS) пленки на поверхности гидрофильных окисленных минералов по механизму анионного обмена. По результатам экспериментов оптимальный расход NaHS определен на уровне 350 г/т, что позволило достичь максимального качества концентрата 20,52% Cu при извлечении металла 71,52% и снижении содержания меди в хвостах до 0,036%. Установлено, что при увеличении расхода реагента до 600 г/т происходит резкое падение извлечения до 49,22% из-за избытка свободных гидросульфид-ионов в пульпе и блокирования адсорбции собирателя ксантогената (эффект депрессии). На основе полученных данных полностью обоснована научная необходимость внедрения автоматизированной технологии CPS (Controlled Potential Sulphidisation) для предотвращения депрессии и постоянного регулирования электрохимического потенциала (Eh) пульпы.

Ключевые слова: смешанная медная руда, фазовый анализ, флотация, активирующий реагент, гидросульфид натрия (NaHS), технология CPS, извлечение металла, эффект депрессии.

STUDY ON THE FLOTATION MECHANISM OF WEATHERED COPPER PORPHYRY ORES WITH THE APPLICATION OF AN ACTIVATOR REAGENT

**Maxmarejabov Dilmurod
Bakhtiyarovich**

Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor,
Chief Inspector of the National
Agency for Quality Assurance in
Education under the Administration
of the President of the Republic of
Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

**Abdurasulova Zarina
Xusniddinovna**

Tashkent State Technical University
named after Islam Karimov,
Tashkent, Uzbekistan

**Botirov Mirmukhsin
Sherali ugli**

Junior Researcher, State Institution
“Institute of Mineral Resources”,
Tashkent, Uzbekistan

**Sodiqov Farrukh
Sobirjon ugli**

Junior Researcher, State Institution
“Institute of Mineral Resources”,
Tashkent, Uzbekistan

Abstract. During laboratory testing, the effect of varying dosages of the NaHS (sodium hydrosulfide) reagent was studied to evaluate the formation of an ultra-thin artificial covellite-like (CuS) film on the surface of hydrophilic oxidized minerals via an anion exchange mechanism. Experimental results indicated that the optimum NaHS consumption rate is 350 g/t. At this operational point, the maximum concentrate grade reached 20.52% Cu with a corresponding metal recovery rate of 71.52%, while the copper content in the tailings dropped to 0.036%. Conversely, increasing the reagent dosage to 600 g/t led to a sharp decline in recovery down to 49.22% due to an excess of free hydrosulfide ions in the pulp, which blocked the adsorption of the xanthate collector (depression effect). Based on these findings, the scientific necessity of implementing automated CPS (Controlled Potential Sulphidisation) technology in industrial settings was fully justified to mitigate the adverse depression effects and dynamically regulate the pulp's electrochemical potential (Eh).

Keywords: mixed copper ore, phase analysis, flotation, activating reagent, sodium hydrosulfide (NaHS), CPS technology, metal recovery, depression effect.

Kirish. Jahon va mahalliy mineral xomashyolarni boyitish amaliyotida tarkibida foydali komponentlar miqdori kam bo'lgan hamda gipergen o'zgarishlarga (tabiiy oksidlanishga) uchragan, qiyin boyitiluvchi ma'danlarni qayta ishlash ulushi tobora ortib bormoqda. Bunday xomashyolarga oksidlanishga uchragan va aralash tipdagi mis-porfir rudalarini yorqin misol sifatida keltirish mumkin. Ushbu turdagi konlarni, xususan, Olmaliq KMKga qarashli "Qalmoqqir" va "Yoshlik" konlari ma'danlarini keng ko'lamda sanoat qayta ishlashiga jalb etish barqaror xomashyo bazasini ta'minlashning asosiy shartidir. Biroq bunday rudalar tarkibida ikkilamchi gilli minerallar (shlamlar) va oksidlangan mis birikmalarining yuqori miqdorda uchrashi an'anaviy flotatsiya jarayonining selektivligini hamda standart to'plovchi reagentlarning gidrofobizatsiyalash qobiliyatini keskin pasaytiradi. Mayda dispersli shlam zarralari flotatsiya kameralarida yirik pufakchalar bilan gidrodinamik to'qnashish ehtimoli past bo'lganligi sababli an'anaviy texnologiyalarda chiqindiga o'tib ketadi va metallning qaytarib bo'lmaydigan isrof qilinishiga sabab bo'ladi. Shu bois oksidlanishga uchragan mis-porfir ma'danlarini samarali boyitish uchun pulpani oldindan konditsiyalash va mineral yuzasini kimyoviy faollashtirish usullarini ishlab chiqish, shuningdek, ularning mexanizmlarini nazariy jihatdan asoslash bugungi kunning eng dolzarb ilmiy-amaliy vazifalaridan biri hisoblanadi.

Hozirgi kunda mineral xomashyolarni boyitish sanoatida o'ta mayda va shlamli mis zarrachalarini ajratib olish an'anaviy flotatsiya usullarida gidrodinamik to'qnashish ehtimolining pastligi tufayli jiddiy muammo hisoblanadi. Ushbu muammoni hal etishda fazalararo mikro- va nanopusakchalar (MNB) yordamida pulpani oldindan konditsiyalash texnologiyasi eng istiqbolli yo'nalishlardan biri sifatida namoyon bo'lmoqda. Ilgari o'tkazilgan fundamental tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, gidrodinamik kavitatsiya mexanizmi orqali hosil qilingan ultramayda pufakchalar xalkopirit monominerali va tarkibi murakkab mis rudalarining flotatsiya ko'rsatkichlarini mos ravishda 24,5% va 7% ga oshirish imkonini beradi [1]. Shu bilan birga, MNPG mavjudligi pulpa muhitida asosiy kollektor reagenti bo'lgan natriy izopropil ksantogenatning (SIPX) mineral yuzasiga

adsorbsiyalanish samaradorligini o'rtacha 73,8% ga, uning kinetik tezligini esa 69,44% ga oshiradi [1]. Bu, o'z navbatida, mineral sirtining gidrofobligini keskin oshirib, termodinamik barqarorlikni ta'minlaydi [5]. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, barqaror nano- va mikropufakchalar o'ziga xos kinetik xususiyatlari tufayli tizimda ikkilamchi kollektor (ko-kollektor) vazifasini bajaradi. Bu hodisa sanoat sharoitida qimmatbaho kimyoviy reagentlar hamda ko'pirtirgichlar sarfini 30% dan 50% gacha qisqartirish imkonini beradi [2]. Pulpani nano-pufakchalar bilan oldindan intensiv konditsiyalash sanoat miqyosidagi murakkab minerallarda ham yuqori samara bergan [6]. Chunonchi, Chili porfir konlaridan olingan va tarkibida yuqori miqdorda gil (shlam) bo'lgan mis-molibden sulfidli rudalar flotatsiyasida nano-pufakchalar qo'llanilganda, sof tizimlarda misni ajratib olish ko'rsatkichi 7,5% ga, molibdenni ajratish samaradorligi esa 20% ga oshgani tajribalarda isbotlangan [3]. Biroq gil minerallarining salbiy ta'sirini kamaytirish uchun nano-pufakchalar oqimining gidrodinamik parametrlari va o'lchamlarini qat'iy nazorat qilish talab etiladi [3]. Konditsiyalash samaradorligini oshirish maqsadida maxsus loyihalashtirilgan Venturi trubkali kavitatsiya generatori pulpa oqimida yuqori energiyali dissipatsiya zonalarini hosil qiladi [8]. Ushbu qurilma yordamida amalga oshirilgan flotatsiya jarayonida o'ta mayda zarrachalar yuzasida mikropufakchalarning selektiv yadrolanishi kuzatiladi va bu texnologiya tarkibi murakkab bo'lgan polimetallik qo'rg'oshin-mis (Pb-Cu) sulfidli rudalarni yuqori selektivlik bilan ajratish kinetikasini tubdan kuchaytiradi [4]. Bunday fazalararo gidrofob pufak guruhlari mayda mineral shlamlarini o'zaro birlashtirib, «pufak ko'prigi» (bubble bridging) effekti orqali mustahkam aeroflokulalar hosil qiladi [5]. Mazkur barqaror komplekslar yirik pufakchalar bilan to'qnashganda gidrodinamik to'siqlarni osongina yengib o'tadi va flotatsiya kamerasining ko'pik qatlamiga ko'tarilish tezligini 2-3 barobarga oshiradi [6]. Bundan tashqari, flotatsiyadan oldin pulpaga nano-pufakchalarni kiritish tizimdagi erigan kislorod miqdorini me'yorlashtiradi hamda mineral yuzasining elektrokimyoviy potensialini (zeta-potensialini) o'zgartiradi [7]. Bu esa sulfidli mis minerallarining selektiv faollashuvini osonlashtirib,

depressorlar ta'siriga chidamliligini oshiradi [7]. Sanoat miqyosidagi ejektorli nano-pufak generatorlarining gidrodinamik rejimlarini matematik modellash tirish shuni ko'rsatadiki, pufakchalar o'lchami 100 nm dan 500 nm gacha bo'lganda, ularning mineral yuzasida mavjud bo'lish muddati (barqarorligi) maksimal darajaga yetadi va sirt energiyasini kamaytiradi [8]. Bu, o'z navbatida, shlamli chiqindilar tarkibida qolib ketayotgan mis zarrachalarini ikkilamchi qayta ishlashda va boyitish fabrikalarining umumiy texnologik ko'rsatkichlarini yaxshilashda muhim uskunaviy yechim hisoblanadi [9]. Xulosa qilib aytganda, fazalararo MNPG texnologiyasini joriy etish mis ishlab chiqarish sanoatida ham iqtisodiy tejankorlikka (reagentlarni tejash hisobiga), ham ekologik xavfsizlikka (oqova suvlardagi kimyoviy yuklamani kamaytirish orqali) erishish imkonini beradi [10].

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Mineral xomashyolarni boyitish sanoatida o'ta mayda va shlamli mis zarrachalarini ajratib olishda an'anaviy flotatsiya usullarining past samaradorligi muammosini hal etishda fazalararo mikro- va nanopufakchalar (MNB) yordamida pulpani oldindan konditsiyalash texnologiyasi eng istiqbolli va fundamental asoslangan yo'nalish hisoblanadi. Gidrodinamik kavitatsiya mexanizmi orqali hosil qilingan ultra mayda pufakchalar xalkopirit monominerali va murakkab mis rudalari flotatsiyasini mos ravishda 24,5% va 7% ga oshirish bilan birga, pulpa muhitida asosiy kollektor reagenti bo'lgan natriy izopropil ksantogenatning (SIPX) mineral yuzasiga adsorbsiyalanish samaradorligini 73,8% ga va kinetik tezligini 69,44% ga jadallashtiradi. Tizimda ikkilamchi kollektor vazifasini bajaruvchi ushbu barqaror nano- va mikropufakchalar mineral sirtining gidrofobligi hamda termodinamik barqarorligini keskin oshirishi hisobiga sanoat sharoitida qimmatbaho kimyoviy reagentlar va ko'pirtirgichlar sarfini 30% dan 50% gacha qisqartirish imkonini beradi. Ushbu texnologiyani trubkali kavitatsiya generatorlari yoki elektrodli qurilmalar yordamida tatbiq etish yuqori miqdorda gil saqlagan mis-molibden va murakkab polimetallik qo'rg'oshin-mis (Pb-Cu) sulfidli rudalarini bir-biridan yuqori selektivlik bilan ajratish kinetikasini tubdan kuchaytiradi. Minerallar yuzasida mikropufakchalarning selektiv yadro-

lanishi va «pufak ko'prigi» effekti orqali hosil bo'ladigan mustahkam aeroflokulalar yirik pufakchalar bilan to'qnashganda gidrodinamik to'siqlarni osongina yengib o'tadi hamda flotatsiya kamerasining ko'pik qatlamiga ko'tarilish tezligini 2–3 barobarga oshiradi. Bundan tashqari, o'lchami 100 nm dan 500 nm gacha bo'lgan nanopufakchalar tizimdagi erigan kislorod miqdorini normallashtirib, mineral yuzasining zeta-potensialini o'zgartiradi va shu orqali sulfidli mis minerallarining selektiv faollashuvini osonlashtirib, depressorlar ta'siriga chidamliligini oshiradi. Matematik va gidrodinamik modellash tirish asosida pufakchalar oqimi parametrlarini qat'iy nazorat qilish shlamli chiqindilar tarkibida qolib ketayotgan mis zarrachalarini ikkilamchi qayta ishlashda va boyitish fabrikalarining umumiy texnologik chiqish ko'rsatkichlarini yaxshilashda muhim uskunaviy yechim hisoblanadi. Xulosa qilib aytganda, fazalararo mikro- va nanopufakchalar texnologiyasining joriy etilishi mis ishlab chiqarish sanoatida reagentlarni tejash hisobiga yuqori iqtisodiy samaradorlikka erishish hamda oqova suvlardagi kimyoviy yuklamani kamaytirish orqali ekologik xavfsizlikni ta'minlash imkonini beruvchi kompleks innovatsion yondashuvdir.

1-jadval

**Ma'dan namunasining mis metali bo'yicha
fazaviy tahlili natijalari**

Misning birikish shakllari (fazalar)	Mineralogik tarkibi	Misning faza bo'yicha ulushi, %	Ma'dandagi sof metall miqdori, %
Birlamchi sulfidlar	Xalkopirit (CuFeS_2), bornit (Cu_5FeS_4)	40,0	0,126
Ikkilamchi sulfidlar	Xalkozin (Cu_2S), kovellin (CuS)	20,0	0,063
Oksidlangan minerallar (karbonat/oksid)	Malaxit, azurit, kuprit	28,0	0,088
Silikatli (qiyin flotatsiyalanuvchi)	Xrizokolla ($\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)	10,0	0,032
Suvda eruvchan sulfatlar	Xalkantit ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	2,0	0,006
JAMI:	—	100,0%	0,315%

1-jadval ma'lumotlariga ko'ra, taqdim etilgan fazaviy tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, dastlab tarkibida 90–95% xalkopirit bo'lgan va 20 yil davomida tabiiy atmosfera sharoitida oksidlanishga uchragan ruda tubdan mineralogik o'zgarishlarga duch kelgan. Birlamchi sulfidli mis ulushi 40,0% gacha kamaygan bo'lsa, gipergen jarayonlar

hisobiga 20,0% ikkilamchi sulfidlar (xalkozin va kovellin) hamda jami 38,0% oksidlangan va silikatli fazalar (malaxit, azurit, xrizokolla) shakllangan. Bu ko'rsatkichlar rudaning to'liq sulfidli turdan murakkab aralash (sulfid-oksid) turiga o'tganligini ilmiy jihatdan isbotlaydi.

Natijalar va muhokama. Tarkibida 0,315% mis bo'lgan kambag'al va aralash (20 yil davomida oksidlanishga uchragan) ruda namunalari boyitishda NaHS (natriy gidrosulfid) faollashtiruvchi reagentining turli sarf dozalarining texnologik ko'rsatkichlarga ta'siri quyidagicha tahlil qilindi:

1-jadval

**Turli dozadagi NaHS faollashtiruvchisi
 ishtirokida misni boyitish jarayonining
 laboratoriya sinovlari natijalari**

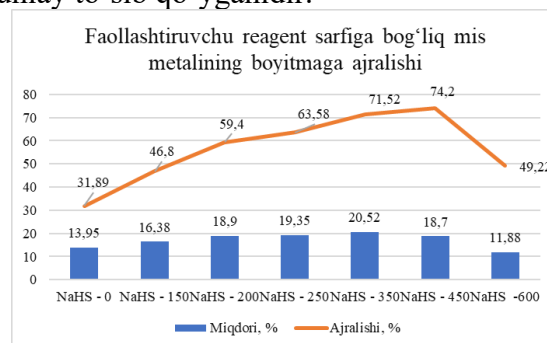
Mahsulotlar nomi	Chiqishi, %	Miqdori, %	Ajralishi, %	Faollashtiruvchi reagent NaHS sarfi, g/t
		Cu	Cu	
Boyitma	0,8	13,95	31,89	NaHS – 0
Oraliq mahsulot	2,2	0,5	3,11	
Chiqindi	97	0,2	65	
Dastlabki mahsulot	100	0,315	100	
Boyitma	1	16,38	46,8	NaHS – 150
Oraliq mahsulot	2,8	0,63	5,04	
Chiqindi	96,2	0,139	48,16	
Dastlabki mahsulot	100	0,315	100	
Boyitma	1,1	18,9	59,4	NaHS – 200
Oraliq mahsulot	3,3	0,86	8,06	
Chiqindi	95,6	0,083	32,54	
Dastlabki mahsulot	100	0,315	100	
Boyitma	1,15	19,35	63,58	NaHS – 250
Oraliq mahsulot	3,5	0,77	7,65	
Chiqindi	95,35	0,07	28,77	
Dastlabki mahsulot	100	0,315	100	
Boyitma	1,22	20,52	71,52	NaHS – 350
Oraliq mahsulot	4,1	0,74	8,65	
Chiqindi	94,68	0,036	19,83	
Dastlabki mahsulot	100	0,315	100	
Boyitma	1,25	18,7	74,2	NaHS – 450
Oraliq mahsulot	4,3	0,65	8,8	
Chiqindi	94,45	0,057	17	
Dastlabki mahsulot	100	0,315	100	
Boyitma	1,45	11,88	49,22	NaHS – 600
Oraliq mahsulot	4,8	0,59	8,02	
Chiqindi	93,75	0,123	42,76	
Dastlabki mahsulot	100	0,315	100	

Reagent qo'llanilmagan holat (NaHS=0 g/t):

Faollashtiruvchi reagent ishtirok etmaganda, boyitmaga misning ajralishi o'ta past bo'lib, atigi 31,89% ni tashkil etdi, boyitma sifati esa 13,95% Cu darajasida qoldi. Bu ko'rsatkich rudadagi faqat oson flotatsiyalanuvchi erkin sulfidli minerallar (xalkopirit, xalkozin) ko'pikka chiqqanini, oksidlangan karbonatli fazaning (malaxit, azurit) esa deyarli to'liq chiqindiga (chiqindidagi Cu miqdori 0,2%) o'tib ketganini ko'rsatadi.

Reagent dozasi oshirish va optimal nuqta (NaHS=150–350 g/t): Reagent sarfi 150 g/t dan 350 g/t gacha bosqichma-bosqich oshirilganda, boyitish ko'rsatkichlarining to'g'ri proporsional ravishda o'sib borishi kuzatildi. Eng yuqori va optimal ko'rsatkich NaHS sarfi 350 g/t bo'lganda qayd etildi. Ushbu nuqtada boyitmaning sifati maksimal 20,52% misga, undagi metallning ajralish darajasi esa 71,52% ga yetdi. Bu holat pulpadagi gidrosulfid ionlari miqdori oksidlangan mis minerallari yuzasida to'liq va mustahkam sun'iy sulfidli parda hosil qilish uchun yetarli bo'lganidan dalolat beradi. Natijada, chiqindidagi mis miqdori eng minimal nuqtaga (0,036% Cu) tushdi.

Reagent dozasi me'yoridan oshib ketishi va depressiya effekti (NaHS=450–600 g/t): NaHS sarfi 450 g/t ga yetganda, ajralish biroz oshgan bo'lsa-da (74,2%), boyitma sifati 18,7% gacha pasaydi. Reagent sarfi 600 g/t ga oshirilganda esa jarayonda keskin depressiya (cho'kish) effekti yuz berdi: misning boyitmaga ajralishi 49,22% gacha, uning sifati esa 11,88% gacha pasaydi. Buning asosiy sababi — pulpadagi ortiqcha erkin sulfid ionlari (HS^-) va (S^{2-}) mis minerallari yuzasini o'ta qalin qoplab, to'plovchi reagent (ksantogenat) ionlarining sirtga adsorbsiyalanishini (yopishishini) butunlay to'sib qo'yanidir.



1-rasm. NaHS faollashtiruvchi reagenti sarfining mis miqdori va boyitmaga ajralish ko'rsatkichlariga ta'sirini solishtirish diagrammasi.

Oksidlangan mis minerallari tabiatan gidrofil (suvni oson shimuvchi) bo'lib, ularning sirtida to'plovchi reagent (ksantogenat) ionlari adsorbsiyalana olmaydi. NaHS reagentining bosh vazifasi — oksidlangan mineral sirtini sun'iy ravishda sulfidlash (sulfidizatsiya), ya'ni uning yuzasida sulfidli minerallarga (xalkopirit, xalkozin kabi) xos bo'lgan gidrofob parda hosil qilishdir.

Jarayon pulpa muhitida ma'dan zarrachalari va reagent ionlari o'rtasida bir nechta ketma-ket bosqichda kechadi. Gidroliz va ionlanish: NaHS suvda eriganda gidrosulfid (HS^-) va sulfid (S^{2-}) ionlarini hosil qiladi. Anion almashinuvi (sirt modifikatsiyasi): pulpadagi (HS^-) va (S^{2-}) ionlari oksidlangan mis mineralining (masalan, malaxit) yuzasiga ta'sir qiladi. Mineralning kristall panjarasidagi karbonat (CO_3^{2-}) yoki gidroksil (OH^-) guruhlari sulfid ionlari bilan almashadi. Hosil bo'lgan yangi sulfidli yuza endi to'plovchi reagent — ksantogenat (masalan, PAX yoki PBX) ionlarini o'ziga osonlikcha adsorbsiyalaydi (biriktiradi). Ksantogenat mineralni gidrofob (suvni qaytaruvchi) holatga keltirib, uning havo pufakchalariga yopishib, ko'pikka chiqishini ta'minlaydi.

Xulosa. Tabiiy-atmosfera va texnogen sharoitda saqlangan, dastlab 90–95% xalkopiritdan iborat bo'lgan ma'danlarning fazaviy tahlili shuni ko'rsatdiki, gipergen jarayonlar natijasida birlamchi sulfidli mis ulushi 40,0% gacha kamayib, ruda tarkibida 20,0% ikkilamchi sulfidlar hamda 38,0% qiyin boyitiluvchi oksidlangan va silikatli fazalar

shakllangan. Umumiy mis miqdori 0,315% bo'lgan ushbu xomashyo to'liq aralash (sulfid-oksidi) turiga o'tganligi sababli, uni an'anaviy flotatsiya usulida to'g'ridan-to'g'ri boyitish samarasiz hisoblanadi.

Oksidlangan mis minerallarining yuqori gidrofilligini bartaraf etish va mineral yuzasini faollashtirish uchun NaHS (natriy gidrosulfid) reagentidan foydalanish majburiy texnologik zaruriyat ekanligi ilmiy va amaliy jihatdan asoslandi. Pulpa muhitida NaHS gidrolizi natijasida hosil bo'lgan (HS^-) va (S^{2-}) ionlari malaxit hamda azurit kabi minerallarning kristall panjarasidagi karbonat va gidroksil guruhlari bilan anion almashinuvi reaksiyasiga kirishib, mineral yuzasida o'ta yupqa, molekulyar darajadagi gidrofob kovellinsimon (CuS) parda hosil qilishi aniqlandi.

Laboratoriya sinovlari natijalariga ko'ra, NaHS reagentining ushbu aralash ruda uchun maqbul (optimal) sarf miqdori 350 g/t deb belgilandi. Ushbu dozada mineral yuzasining to'liq sulfidlanishi hisobiga boyitma sifati maksimal 20,52% Cu ga, metallning ajralib olish darajasi esa 71,52% ga yetdi hamda chiqindidagi mis miqdori minimal ko'rsatkichgacha (0,036%) kamaydi. Reagent sarfining 600 g/t gacha oshirilishi esa pulpa eritmasida erkin gidrosulfid ionlarining ortib ketishi va to'plovchi ksantogenat adsorbsiyasining blokalanishi (depressiya effekti) hisobiga ajralish ko'rsatkichining 49,22% gacha keskin pasayishiga olib keldi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Barbouchi, A., Ayadi, S., Idouhli, R., Khadiri, M. E., Abouelfida, A., Barfoud, L., Faqir, H., Benzakour, I., Benzakour, J. (2025). Highly efficient pretreatment for refractory gold ores using persulfate, catalyst and free radical based advanced oxidation processes to improve cyanidation. *Hydrometallurgy*, 235.
- [2] Mesa Espitia, S. L., & Lapidus, G. T. (2015). Pretreatment of a refractory arsenopyritic gold ore using hydroxyl ion. *Hydrometallurgy*, 153, 106–113.
- [3] Rodríguez-Rodríguez, C., Nava-Alonso, F., & Uribe-Salas, A. (2018). Arsenopyrite oxidation with ozone: Stoichiometry and kinetics. *Ozone: Science & Engineering*, 40, 284–292.
- [4] Barbouchi, A., Er-Raqi, I., Hamchi, M., Idouhli, R., Khadiri, M., Abouelfida, A., El Alaoui-Chrifi, M. A., Faqir, H., Benzakour, I., & Benzakour, J. (2024). Chemical oxidation of arsenopyrite by strong oxidizing agents: For oxidative pretreatment of refractory arsenopyritic gold ores. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 185–194.
- [5] Barbouchi, A., Louarrat, M., Mikali, M., Barfoud, L., El Alaoui-Chrifi, M. A., Faqir, H., Benzakour, I., Idouhli, R., Khadiri, M. E., & Benzakour, J. (2024). Advancements in improving gold recovery from refractory gold ores/concentrates: A review. *Canadian Metallurgical Quarterly*

- [6] Hammerschmidt, J., Guntner, J., Kerstiens, B., & Charitos, A. (2016). Roasting of gold ore in the circulating fluidized-bed technology. In Gold ore processing: Project development and operations.
- [7] Miller, P., & Brown, A. R. G. (2016). Bacterial oxidation of refractory gold concentrates. In Gold ore processing: Project development and operations.
- [8] Thomas, K. G., & Pearson, M. S. (2016). Pressure oxidation overview. In Gold ore processing: Project development and operations.
- [9] Badri, R., & Zamankhan, P. (2013). Sulphidic refractory gold ore pre-treatment by selective and bulk flotation methods. Advanced Powder Technology.

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Maxmarejabov, D. B., Abdurasulova, Z. X., Botirov, M. S., & Sodiqov, F. S. (2026). Oksidlanishga uchragan mis porfir ma'danlarni faollashtiruvchi reagent bilan flotatsiyalash mexanizmini o'rganish. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3.2026.14>
