

UO‘K: 622.765.4:622.343

doi 10.70769/3030-3214.SRT.4.3.2026.12

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

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

OKSIDLANGAN VA ARALASH TIPDAGI MIS RUDALARINI TO‘PLOVCHI REAGENT YORDAMIDA FLOTATSIYALASHNI 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*



**Asilov Shodbay
Nurullayevich**

*“Mineral resurslar instituti” DM
kichik ilmiy xodimi, Toshkent,
O‘zbekiston,
E-mail:
shodibekasilov777@gmail.com
ORCID ID: 0009-0007-3426-4409
Science ID: MJZ-1225-0039*



**Jabborov Ergash
Yusuf o‘g‘li**

*“Mineral resurslar instituti” DM
kichik ilmiy xodimi, Toshkent,
O‘zbekiston,
E-mail:
ergashjabborov92@gmail.ru
ORCID ID: 0009-0008-0299-1529
Science ID: MSN-0525-0169*

Annotatsiya. Ushbu maqolada global mis zaxiralarining kamayishi sharoitida qiyin boyitiluvchi oksidlangan va aralash mis rudalarini (malaxit, azurit, xrizokolla) faollashtiruvchi reagentlar yordamida flotatsiyalash texnologiyasi tadqiq etilgan. Tadqiqot doirasida jahon tog‘-kon sanoatining yirik korxonalari — Kansanshi va Bozshakol kabi, yillik quvvati 1,5 dan 40 mln tonnagacha bo‘lgan fabrikalarning amaliy tajribasi hamda ularda qo‘llaniladigan natriy sulfid (Na_2S) va natriy gidrosulfid (NaHS) reagentlarining samaradorligi tizimli tahlil qilingan. Minerallar yuzasida sun‘iy sulfidli parda hosil bo‘lish mexanizmlari hamda pulpadagi sulfid ionlari konsentratsiyasini elektrokimyoviy salohiyat (Eh) orqali avtomatik boshqaruvchi CPS (Controlled Potential Sulphidisation) texnologiyasining ilmiy asoslari ko‘rsatib o‘tilgan. Kaliy va butil ksantogenatlari kabi kuchli to‘plovchilarning faollashtirilgan mineral sirti bilan o‘zaro ta‘siri hamda mineral depressiyasini bartaraf etish usullari yoritilgan.

Kalit so‘zlar: oksidlangan mis rudalari, flotatsiya, faollashtiruvchi reagentlar, natriy sulfid, CPS texnologiyasi, to‘plovchi reagentlar, misni ajratib olish.

Received: 23.07.2026

Accepted: 16.08.2026

Issue publication: 28.09.2026

ИЗУЧЕНИЕ ФЛОТАЦИИ ОКИСЛЕННЫХ И СМЕШАННЫХ МЕДНЫХ РУД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОБИРАТЕЛЬНОГО РЕАГЕНТА

**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*

**Асиров Шодбай
Нуруллаевич**

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

**Жабборов Эргаш Юсуф
угли**

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

Аннотация. В данной статье исследована технология флотации труднообогатимых окисленных и смешанных медных руд (малахит, азурит, хризоколл) с использованием активирующих реагентов. В рамках исследования проведён системный анализ практического опыта крупных предприятий мировой горнодобывающей промышленности — Кансаниши и Бозшаколя, с годовой мощностью переработки от 1,5 до 40 млн тонн руды, а также эффективности применяемых на них реагентов — сульфида натрия (Na_2S) и гидросульфида натрия (NaHS). На основе научных принципов раскрыты механизмы формирования искусственной сульфидной плёнки на поверхности минералов и роль технологии CPS (Controlled Potential Sulphidisation), автоматически управляющей концентрацией сульфид-ионов посредством электрохимического потенциала (E_h). Описаны особенности взаимодействия сильных собирателей, таких как амиловый и бутиловый ксантогенаты, с активированной поверхностью минералов, а также методы устранения их депрессии. Предложенные технологические решения позволяют существенно повысить показатели извлечения металлов из окисленного сырья.

Ключевые слова: окисленные медные руды, флотация, активирующие реагенты, сульфид натрия, технология CPS, реагенты-собиратели, извлечение меди.

INVESTIGATION INTO THE FLOTATION OF OXIDIZED AND MIXED COPPER ORES USING A COLLECTOR 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

**Asilov Shodbay
Nurullayevich**

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

**Jabborov Ergash Yusuf
ugli**

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

Abstract. This paper investigates the flotation technology of refractory oxidized and mixed copper ores (malachite, azurite, chrysocolla) using activating reagents. The study provides a systematic analysis of the operational experience of major global mining enterprises—Kansanshi and Bozshakol—with annual processing capacities ranging from 1.5 to 40 million tons of ore, and evaluates the efficiency of sodium sulfide (Na_2S) and sodium hydrosulfide (NaHS) reagents used in these plants. The scientific mechanisms underlying the formation of an artificial sulfide film on the mineral surface are detailed, alongside the principles of CPS (Controlled Potential Sulphidisation) technology, which automatically regulates sulfide ion concentration via electrochemical potential (E_h). Furthermore, the interaction of strong collectors, such as potassium amyl xanthate (PAX) and potassium butyl xanthate (PBX), with the activated mineral surface, as well as methods to mitigate mineral depression, are highlighted. The proposed technological solutions offer a significant increase in metal recovery rates from oxidized copper resources.

Keywords: oxidized copper ores, flotation, activating reagents, sodium sulfide, CPS technology, collector reagents, copper recovery.

Kirish. Global mis sanoati sulfidli zaxiralarning kamayishi fonida oksidlangan va aralash rudalarni (malaxit, xrizokolla) boyitish uchun o‘ta yuqori gidrofillikka ega minerallarni faollashtiruvchi reagentlar yordamida sulfidlash (CPS texnologiyasi) usuliga strategik ehtiyoj sezmoqda. Hozirgi vaqtda jahon miqyosida mis

ishlab chiqarish sanoatida sulfidli rudalar mutlaq ustunlikka ega bo‘lib, umumiy ishlab chiqarishning qariyb 80 foizini tashkil etadi. Oksidlangan va aralash (sulfid-oksit) mis rudalarining ulushi esa taxminan 20 foiz atrofida baholanmoqda. Dunyo bo‘yicha yuqori sifatli va oson flotatsiyalanuvchi sulfidli mis (xalkopirit, bornit) zaxiralari tugab

bormoqda. Konlarning chuqurlashishi va uzoq vaqt davomida qayta ishlanishi natijasida ruda qatlamlari yer yuzasiga yaqin joylarda kislorod hamda yer osti suvlari bilan reaksiyaga kirishib, oksidlangan zonalarni (malaxit, azurit) hosil qilgan. Elektromobillar (EV), shamol va quyosh energetikasi hamda global infratuzilmalarning o'sishi tufayli jahon bozorida misga bo'lgan talab rekord darajaga yetdi. Global mis defitsitini qoplash uchun ilgari "chiqindi" (sub-balans) deb hisoblangan oksidlangan rudalarni sanoat aylanmasiga kiritish majburiy yechimga aylandi. Oksidlangan minerallar gidrofil (suvni oson shimuvchi) bo'lgani uchun an'anaviy flotatsiya usulida to'g'ridan to'g'ri ajralmaydi; ularni gidrometallurgiya (kislotaga bilan yuvish) orqali ajratish esa har doim ham iqtisodiy jihatdan o'zini oqlamaydi. Shu sababli, yuqorida muhokama qilingan CPS (nazorat qilinadigan sulfidlash) kabi flotatsiya texnologiyalari orqali oksidlangan rudalardan metallni samarali ajratib olish bugungi kun tog'-kon ilmining eng dolzarb va strategik yo'nalishlaridan biridir.

Oksidlangan mis rudalarini qayta ishlashda an'anaviy usullarning past samaradorligi ushbu minerallarning yuqori gidrofilligi bilan bog'liq bo'lsa [1], natriy sulfid yoki gidrosulfid yordamida sun'iy sulfidlash ajratib olishni yaxshilashning asosiy usuli hisoblanadi [2]. "Boshqariladigan potensial sulfidlash" (CPS) usuli reaktivlarning ortiqcha sarflanishining oldini olib, ko'pik faolligini oshiradi [3]. Bu jarayonda amil ksantogenati va gidroksamat kabi selektiv reagentlar kombinatsiyasidan foydalanish tavsiya etiladi [4]. Ruda tarkibidagi karbonat va silikat guruhlarining sulfid ionlari bilan almashinish mexanizmlarini to'g'ri boshqarish metallni ajratib olish darajasini oshirsa [5], mahalliy "Qalmoqir" konining murakkab rudalarini boyitishda natriy sulfid va butil ksantogenati dozalarini optimallashtirish dolzarb hisoblanadi [6].

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Tahlillar shuni ko'rsatadiki, dunyo miqyosida aralash va oksidlangan mis rudalarini qayta ishlovchi yirik boyitish fabrikalari (yiliga 1,5 dan 40 million tonnagacha ruda) flotatsiya jarayonida gidrofil minerallarni faollashtirish uchun asosan natriy sulfid (Na_2S) va natriy gidrosulfid (NaHS) reagentlaridan foydalanadi. O'ta yirik quvvatli

ishlab chiqarishlarda (masalan, Bozshakol) narxi nisbatan arzon va samarali bo'lgan Na_2S qo'llanilsa, tarkibida qiyin flotatsiyalanuvchi xrizokolla minerali ko'p bo'lgan korxonalarda (Kansanshi, Sepon) pH barqarorligini saqlash uchun NaHS reagentiga afzallik beriladi. Minerallar yuzasi muvaffaqiyatli sulfidlashgandan so'ng, ularni ko'pikka ajratib olish uchun kuchli to'plovchilar — kaliy amilksantogenati (PAX) yoki butil ksantogenati (PBX) ishlatiladi. Murakkab tarkibli tizimlarda esa ksantogenatlar selektiv gidroksamatlar yoki ditiofosfatlar bilan kombinatsiya qilinadi.

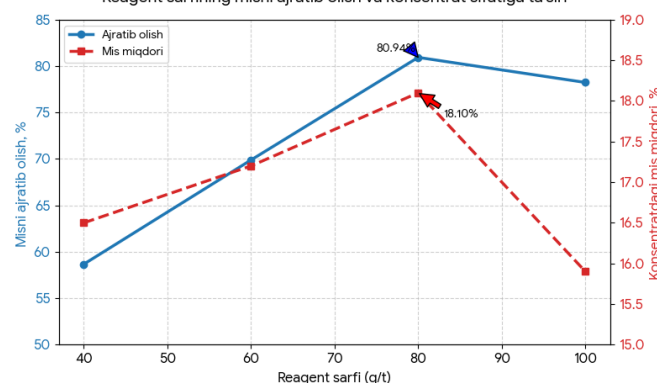
1-jadval

Jahon miqyosida oksidlangan mis minerallaridan faollashtiruvchi reagent qo'llash orqali boyitish jarayonini amalga oshiruvchi fabrikalar

Fabrika nomi	Joylashgan davlati	Yillik qayta ishlash quvvati	Asosiy oksidlangan minerallar	Qo'llaniladigan faollashtiruvchi reagent	Qo'llaniladigan to'plovchi
Kansanshi	Zambiya	25–27,5 mln tonna	Malaxit, xrizokolla, azurit	Natriy gidrosulfid (NaHS)	Kaliy amilksantogenati (PAX) + gidroksamat
Bozshakol	Qozog'iston	30 mln tonna	Malaxit, xrizokolla	Natriy sulfid (Na_2S)	Butil ksantogenati (PBX) + ditiofosfat
Sepon	Laos	2,5–3,0 mln tonna	Malaxit, azurit, psevdomalaxit	Natriy gidrosulfid (NaHS)	Kaliy amilksantogenati (PAX)
Nchanga	Zambiya	8–10 mln tonna	Malaxit, kuprit	Natriy sulfid (Na_2S)	Kaliy amilksantogenati (PAX)
Sanyuan	Xitoy	1,5–2,0 mln tonna	Malaxit, kuprit	Natriy sulfid (Na_2S) + organik aminlar	Amil va butil ksantogenatlari aralashmasi

Oksidlangan va aralash mis rudalarini flotatsiyalashda pulpadagi sulfid ionlari (S^{2-}) konsentratsiyasini elektrokimyoviy salohiyat (Eh) yordamida avtomatik boshqarishga asoslangan yuqori texnologik uslubdir.

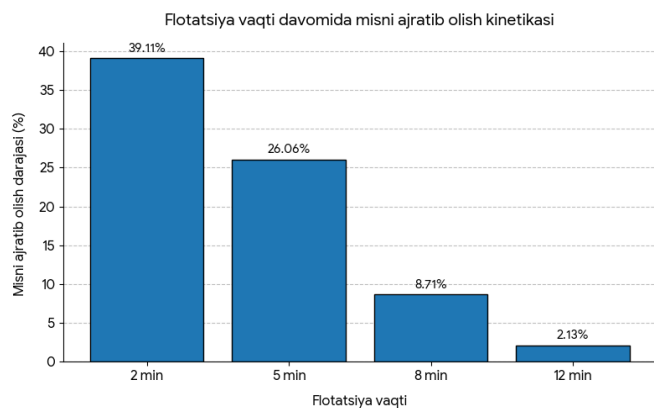
Reagent sarfining misni ajratib olish va konsentrat sifatiga ta'siri



1-rasm. Reagent sarfining misni ajratib olish va konsentrat sifatiga ta'siri.

1-rasmda to'plovchi reagent sarfining qiyin boyitiluvchi oksidlangan mis rudasini flotatsiyalash ko'rsatkichlariga ta'siri keltirilgan. Grafik tahlilidan

ko‘rinib turibdiki, reagent sarfi 40 g/t dan 80 g/t gacha oshirilganda, konsentratdagi mis miqdori 16,50 foizdan 18,10 foizgacha, metallni ajratib olish darajasi esa 58,67 foizdan 80,94 foizgacha jadal sur‘atda ko‘tariladi. Bu holat to‘plovchi reagentning mineral yuzasida gidrofob qatlamni samarali hosil qilishi bilan izohlanadi. Biroq, reagent sarfi 100 g/t gacha oshirilganda, ko‘rsatkichlarning mos ravishda 15,90 foiz va 78,24 foizgacha pasayishi kuzatiladi. Bu reagentning optimal konsentratsiyadan ortib ketishi natijasida ko‘pik barqarorligining buzilishi va selektivlikning kamayishi bilan bog‘liq. Demak, 80 g/t sarf jarayon uchun optimal texnologik rejim hisoblanadi.



2-rasm. Flotatsiya vaqti davomida misni ajratib olish kinetikasi.

2-rasmda aralash tipli mis rudasini (dastlabki rudadagi $(Cu=0,315\%)$) flotatsiyalash jarayonining vaqt bo‘yicha kinetik ko‘rsatkichlari gistogramma shaklida aks ettirilgan. Tajriba natijalariga ko‘ra, jarayonning dastlabki 2 daqiqasida eng yuqori ko‘rsatkich — 39,11 foiz mis ko‘pikka ajralib chiqadi. Flotatsiyaning 5-daqqasiga kelib, yana 26,06 foiz metall ajratib olinadi va dastlabki 5 daqiqalik intensiv bosqichda jami misning 65,17 foizi konsentratga o‘tadi. 8- va 12-daqqalarda esa ko‘pikka chiqish sur‘ati mos ravishda 8,71 foiz va 2,13 foizgacha sekinlashadi. Bu kinetik bog‘liqlik yangi to‘plovchi reagentning yuqori kinetik faollikka ega ekanligini hamda boyitish siklining dastlabki daqiqalaridayoq asosiy foydali komponentlarni tezkor ajratib olish imkonini berishini isbotlaydi.

Jarayonning ilmiy-texnologik mohiyati va qo‘llanilishi quyidagi fundamental prinsiplarga tayanadi:

Elektrokimyoviy nazorat: pulpa muhitiga

o‘rnatilgan maxsus ion-selektiv sulfidli elektrodlar yordamida tizimning potentsiali (odatda -300 mV dan -500 mV gacha bo‘lgan oraliqda) doimiy o‘lchab boriladi. Bu sulfidlovchi reagent (Na_2S yoki $NaHS$) miqdorini aniq dozlash imkonini beradi.

Depressiyani bartaraf etish: An‘anaviy usulda sulfidizator bir marta ko‘p miqdorda solinganda, pulpadagi ortiqcha S^{2-} ionlari mis minerallari yuzasini qoplab, kollektor (ksantogenat) adsorbsiyasini bloklaydi (depressiyalaydi). CPS texnologiyasi reagentni porsiyalar bilan muvozanatli yuborib, ushbu salbiy effektini butunlay yo‘q qiladi.

Sirt modifikatsiyasi (kinetika): Nazorat qilinadigan muhitda sulfid ionlari malaxit yoki azurit kabi gidrofil minerallarning kristall panjarasidagi kislorod va karbonat guruhlar bilan jadal almashinadi. Natijada mineral yuzasida gidrofob xususiyatga ega bo‘lgan o‘ta yupqa, sun‘iy xalkopiritsimon (CuS) parda hosil bo‘ladi va u kollektor bilan mustahkam birikadi. Ushbu texnologiya xalqaro miqyosda mineral xomashyodan metall ajratib olish foizini 15–20% gacha oshirish va reagentlar sarfini sezilarli darajada tejash uchun qo‘llaniladi.

Xulosa. Oksidlangan va aralash mis rudalarini (malaxit, azurit, xrizokolla) an‘anaviy usullarda flotatsiyalash mineral yuzasining yuqori gidrofilligi sababli samarasiz bo‘lib, ularni boyitishdan oldin Na_2S yoki $NaHS$ reagentlari bilan sun‘iy sulfidlash majburiy texnologik zaruriyat hisoblanadi.

Xalqaro korxonalar (Kansanshi, Bozshakol, Olmaliq KMK) tajribasi shuni ko‘rsatadiki, pulpadagi sulfid ionlari konsentratsiyasini elektrokimyoviy salohiyat (Eh) orqali nazorat qiluvchi CPS texnologiyasini joriy etish faollashtiruvchi reagentlar sarfini sezilarli darajada tejash va mineral depressiyasini butunlay bartaraf etish imkonini beradi.

Minerallar yuzasi muvaffaqiyatli sulfidlangandan so‘ng, PAX yoki PBX kabi kuchli to‘plovchi reagentlar kombinatsiyasini qo‘llash qiyin boyitiluvchi oksidlangan xomashyolardan tayyor konsentratga metall ajratib olish foizini (извлечение) barqaror oshirishning bosh omilidir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

- [1] Wills, B. A., & Finch, J. A. (2015). Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. Butterworth-Heinemann.
- [2] Kalichini, M. S. (2015). A study of the flotation characteristics of a complex copper ore. University of Cape Town.
- [3] Chabuka, C., & Witika, L. K. (2001). Controlled potential sulphidisation (CPS) application in Zambian copper oxide flotation circuits. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 101(6), 295–301.
- [4] Lee, K., Archibald, D., McLean, J., & Reuter, M. A. (2009). Flotation of mixed copper oxide and sulphide minerals with xanthate and hydroxamate collectors. Minerals Engineering, 22(4), 395–401.
- [5] Bulatovic, S. M. (2010). Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice: Volume 2: Flotation of Gold, PGM and Oxide Minerals. Elsevier.
- [6] Yusupxodjayev, A. A., & Mutalov, S. S. (2018). O‘zbekiston aralash va oksidlangan mis rudalarini boyitish texnologiyalarini takomillashtirish. Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy to‘plami.

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

Maxmarejabov, D. B., Abdurasulova, Z. X., Asilov, S. N., & Jabborov, E. Y. (2026). Oksidlangan va aralash tipdagi mis rudalarini to‘plovchi reagent yordamida flotatsiyalashni o‘rganish. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3.2026.12>
