

MUHANDISLIK

& IQTISODIYOT

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

№3

2026
MART



Milliy nashrlar

OAK: <https://oak.uz/pages/4802>

05.00.00 – Texnika fanlari

08.00.00 – Iqtisodiyot fanlar



Google
Scholar

OPEN ACCESS

ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

Academic
Resource
Index
ResearchBib

ISSN
INTERNATIONAL
STANDARD
SERIAL
NUMBER
INTERNATIONAL CENTRE

CYBERLENINKA

OpenAIRE

ROAD

INDEX COPERNICUS
INTERNATIONAL

BASE

Crossref

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕКА
LIBRARY.RU



ISSN: 3060-463X

РЭУ.РФ
РОССИЙСКИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Г.В. ПЛЕХАНОВА
ТАШКЕНТСКИЙ ФИЛИАЛ



muhandislik **& iqtisodiyot**

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Elektron nashr, 82 sahifa.
2026-yil, mart

Bosh muharrir:

Zokirova Nodira Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, DSc, professor

Bosh muharrir o'rinbosari:

Shakarov Zafar G'afforovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori, PhD, dotsent

Tahrir hay'ati:

Abduraxmanov Kalendar Xodjayevich, O'z FA akademigi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Sharipov Kongratbay Avezimbetovich, texnika fanlari doktori, professor

Maxkamov Baxtiyor Shuxratovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Abduraxmanova Gulnora Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shaumarov Said Sanatovich, texnika fanlari doktori, professor

Turayev Bahodir Xatamovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Allayeva Gulchexra Jalgasovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Arabov Nurali Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Maxmudov Odiljon Xolmirzayevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Xamrayeva Sayyora Nasimovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bobonazarova Jamila Xolmurodovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Irmatova Aziza Baxromovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bo'taboyev Mahammadjon To'ychiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shamshiyeva Nargizaxon Nosirxuja kizi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor,

Xolmuxamedov Muhsinjon Murodullayevich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Xodjayeva Nodiraxon Abdurashidovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Amanov Otabek Amankulovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Toxirov Jaloliddin Ochil o'g'li, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Qurbonov Samandar Pulatovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Zikriyoyev Aziz Sadulloyevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Tabayev Azamat Zaripbayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sxay Lana Aleksandrovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Ismoilova Gulnora Fayzullayevna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Djumaniyazov Umrbek Ilxamovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kasimova Nargiza Sabitdjanovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kalanova Moxigul Baxritdinovna, dotsent

Ashurzoda Luiza Muxtarovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sharipov Sardor Begmaxmat o'g'li, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sharipov Botirali Roxataliyevich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, professor

Tursunov Ulug'bek Sativoldiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent

Bauyetdinov Majit Janizaqovich, Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti dotsenti, PhD

Botirov Bozorbek Musurmon o'g'li, Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sultonov Shavkatjon Abdullayevich, Kimyo fanlari doktori, (DSc)

Jo'raeva Malohat Muhammadovna, filologiya fanlari doktori (DSc), professor.

Yusupov Maxamadamin Abduxamidovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor

Kalonova Moxigul Baxritdinovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi (PhD), dotsent

Mirzayev Kulmamat Djanzakovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor.

Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Norboyev Odil Abrayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Mirzayev Kulmamat Djanzakovich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Pardaev Umidjon Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

muhandislik & iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

- 05.01.00 – Axborot texnologiyalari, boshqaruv va kompyuter grafikasi
- 05.01.01 – Muhandislik geometriyasi va kompyuter grafikasi. Audio va video texnologiyalari
- 05.01.02 – Tizimli tahlil, boshqaruv va axborotni qayta ishlash
- 05.01.03 – Informatikaning nazariy asoslari
- 05.01.04 – Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter tarmoqlarining matematik va dasturiy ta'minoti
- 05.01.05 – Axborotlarni himoyalash usullari va tizimlari. Axborot xavfsizligi
- 05.01.06 – Hisoblash texnikasi va boshqaruv tizimlarining elementlari va qurilmalari
- 05.01.07 – Matematik modellash
- 05.01.11 – Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellekt
- 05.02.00 – Mashinasozlik va mashinashunoslik
- 05.02.08 – Yer usti majmualari va uchish apparatlari
- 05.03.02 – Metrologiya va metrologiya ta'minoti
- 05.04.01 – Telekommunikatsiya va kompyuter tizimlari, telekommunikatsiya tarmoqlari va qurilmalari. Axborotlarni taqsimlash
- 05.05.03 – Yorug'lik texnikasi. Maxsus yoritish texnologiyasi
- 05.05.05 – Issiqlik texnikasining nazariy asoslari
- 05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari
- 05.06.01 – To'qimachilik va yengil sanoat ishlab chiqarishlari materialshunosligi
- 05.08.03 – Temir yo'l transportini ishlatish
- 05.09.01 – Qurilish konstruksiyalari, bino va inshootlar
- 05.09.04 – Suv ta'minoti. Kanalizatsiya. Suv havzalarini muhofazalovchi qurilish tizimlari
- 10.00.06 – Qiyosiy adabiyotshunoslik, chog'ishtirma tilshunoslik va tarjimashunoslik
- 10.00.04 – Yevropa, Amerika va Avstraliya xalqlari tili va adabiyoti
- 08.00.01 – Iqtisodiyot nazariyasi
- 08.00.02 – Makroiqtisodiyot
- 08.00.03 – Sanoat iqtisodiyoti
- 08.00.04 – Qishloq xo'jaligi iqtisodiyoti
- 08.00.05 – Xizmat ko'rsatish tarmoqlari iqtisodiyoti
- 08.00.06 – Ekonometrika va statistika
- 08.00.07 – Moliya, pul muomalasi va kredit
- 08.00.08 – Buxgalteriya hisobi, iqtisodiy tahlil va audit
- 08.00.09 – Jahon iqtisodiyoti
- 08.00.10 – Demografiya. Mehnat iqtisodiyoti
- 08.00.11 – Marketing
- 08.00.12 – Mintaqaviy iqtisodiyot
- 08.00.13 – Menejment
- 08.00.14 – Iqtisodiyotda axborot tizimlari va texnologiyalari
- 08.00.15 – Tadbirkorlik va kichik biznes iqtisodiyoti
- 08.00.16 – Raqamli iqtisodiyot va xalqaro raqamli integratsiya
- 08.00.17 – Turizm va mehmonxona faoliyati

Ma'lumot uchun, OAK

Rayosatining 2024-yil 28-avgustdagi 360/5-son qarori bilan "Dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro'yxati"ga texnika va iqtisodiyot fanlari bo'yicha "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali ro'yxatga kiritilgan.

Muassis: "Tadbirkor va ishbilarmon" MChJ

Hamkorlarimiz:

1. Toshkent shahridagi G.V.Plexanov nomidagi Rossiya iqtisodiyot universiteti
2. Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti
3. Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" milliy tadqiqot universiteti
4. Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti
5. Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
6. Toshkent davlat transport universiteti
7. Toshkent arxitektura-qurilish universiteti
8. Toshkent kimyo-texnologiya universiteti
9. Jizzax politexnika instituti



MUNDARIJA

KORXONALARDA ICHKI AUDIT TIZIMINING BOSHQARUV QARORLARI QABUL QILISHDAGI O'RNI	24
Mexmonaliyev Ulug'bek Erkinjon o'g'li	
FISKAL SIYOSAT SAMARADORLIGI VA SOLIQ TUSHUMLARI DINAMIKASI: O'ZBEKISTON MISOLIDA ILMIY TAHLIL	30
Abduraimova Nigora Abdugapparovna	
YASHIRIN IQTISODIYOTNI KELTIRIB CHIQUARUVCHI ASOSIY OMILLAR HAMDA IQTISODIYOTGA TA'SIRI	37
Toxtabayev Oybek Odilovich	
QISHLOQ XO'JALIGI OZIQ-OVQAT SANOATI KORXONALARIDA ZAMONAVIY BOSHQARUV	42
Rasulova Muxabbat Teshabayevna, Normurodov Sarvar Norboy o'g'li	
O'ZBEKISTON GLOBAL-IQTISODIY RAQOBATBARDOSHLIGINI OSHIRISHDA RAQAMLI IQTISODIYOTNING O'RNI	48
Kuvatova Oliya Sheraliyevna	
QURILISH SANOATIDA KICHIK BIZNES SUBYEKTLARINING IQTISODIY MOHIYATI VA ULARNI KAPITAL BOZORI INSTRUMENTLARI ORQALI MOLİYALASHTIRISH IMKONIYATLARI.....	54
Igitov Jurabek Kuzibekovich	
IQTISODIY ISLOHOTLAR DAVRIDA TIJORAT BANKLARINING INVESTITSIYA FAOLIYATINI RIVOJLANTIRISHNING OMILLARI	61
Yangiboyev F.B.	
TIJORAT BANKLARIDA MUAMMOLI KREDITLARNI ERTA ANIQLASH VA BOSHQARISHNING INTEGRATSIYALASHGAN RISK-INDEKS MODELİ	68
Kalandarov Abdulla Baxtiyorovich, Rajabov Shoxrux Suvon o'g'li	
RUX VA QO'RG'OSHINNI SELEKTIV AJRATIB OLISHNI KOMBINATSIYALASH TEXNOLOGIYASI VA NAZARIYASI.....	74
Eshonqulov Uchqun Xudaynazar o'g'li, Haqberdiyev Dilshod Qodir o'g'li	



RUX VA QO'RG'OSHINNI SELEKTIV AJRATIB OLISHNI KOMBINATSIYALASH TEXNOLOGIYASI VA NAZARIYASI

Eshonqulov Uchqun Xudaynazar o'g'li

“Qarshi davlar texnika universiteti”,

Geologiya va konchilik ishi kafedrası mudiri

Email: uchqun.eshonqulov91@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0002-8415-7218>

Haqberdiyev Dilshod Qodir o'g'li

“Qarshi davlar texnika universiteti”,

Geologiya va konchilik ishi kafedrası doktoranti

<https://orcid.org/0009-0009-0097-7616>

Annotatsiya. Ushbu maqolada rux (Zn) va qo'rg'oshin (Pb) saqlovchi polimetall rudalar hamda texnogen chiqindilarni qayta ishlashda qo'llaniladigan kombinatsiyalashgan piro-metallurgik va gidro-metallurgik texnologiyalarning nazariy asoslari tahlil qilingan. Tadqiqotda jarayonlarning termodinamik va kinetik qonuniyatlari, selektivlik mexanizmlari, fazalararo taqsimlanish jarayonlari, eritish hamda eritmalarda ajratish mexanizmlari ko'rib chiqilgan. Shuningdek, kombinatsiyalashgan usulning afzalliklari, jumladan metall ajralish darajasining oshishi, energiya tejamkorligi va ekologik samaradorligi ilmiy jihatdan asoslab berilgan.

Kalit so'zlar: rux, qo'rg'oshin, pirometallurgiya, gidrometallurgiya, selektiv ajratish, termodinamika, eritish, ekstraksiya.

Abstract. This article examines the theoretical foundations of combined pyrometallurgical and hydrometallurgical technologies used for processing polymetallic ores and technogenic wastes containing zinc (Zn) and lead (Pb). The study analyzes the thermodynamic and kinetic regularities of the processes, mechanisms of selectivity, interphase distribution, as well as the mechanisms of dissolution and separation in aqueous solutions.

The advantages of the combined approach—such as increased metal recovery rates, improved energy efficiency, and enhanced environmental performance—are scientifically substantiated.

Keywords: zinc, lead, pyrometallurgy, hydrometallurgy, selective separation, thermodynamics, smelting, extraction.

Аннотация. В данной статье проанализированы теоретические основы комбинированных пирометаллургических и гидрометаллургических технологий переработки полиметаллических руд и техногенных отходов, содержащих цинк (Zn) и свинец (Pb). Рассмотрены термодинамические и кинетические закономерности процессов, механизмы селективности, межфазное распределение, а также механизмы растворения и разделения компонентов в растворах. Научно обоснованы преимущества комбинированного метода, включая повышение степени извлечения металлов, энергоэффективность и экологическую результативность технологии.

Ключевые слова: цинк, свинец, пирометаллургия, гидрометаллургия, селективное разделение, термодинамика, плавление, экстракция.



KIRISH

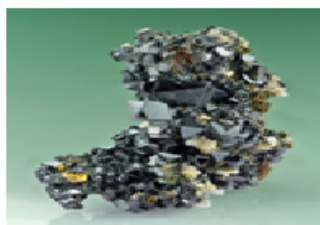
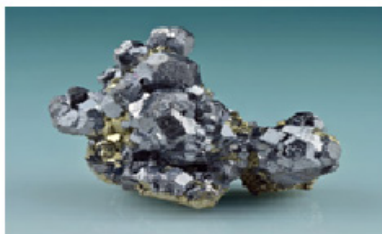
Rux va qo'rg'oshin rangli metallurgiya sanoatining muhim komponentlari hisoblanadi. Ushbu metallar asosan sulfidli rudalar tarkibida uchraydi, jumladan sfalerit (ZnS) ruxning asosiy manbai, galenit (PbS) esa qo'rg'oshinning asosiy manbai sifatida qaraladi. Zamonaviy metallurgiya sanoatida ushbu metallarni selektiv ajratish yuqori tozalikdagi mahsulot olish, shuningdek kompleks xom ashyodan maksimal darajada samarali foydalanish imkonini beradi.

An'anaviy piro-metallurgik yoki gidro-metallurgik jarayonlar ayrim hollarda yetarli selektivlikni ta'minlay olmaydi hamda komponentlarni to'liq ajratish jarayonida texnologik va energiya samaradorligi pasayishi mumkin [4]. Shu sababli rux va qo'rg'oshin saqllovchi polimetall rudalarni qayta ishlashda kombinatsiyalashgan piro-gidro metallurgik texnologiyalarni qo'llash ilmiy va amaliy jihatdan muhim ahamiyat kasb etadi.

Rux va qo'rg'oshin rudalari odatda bir necha turdagi minerallardan tashkil topgan murakkab tarkibli tizim hisoblanadi. Ularning asosiy komponentlari quyidagilardan iborat:

- Sfalerit (ZnS) – ruxning asosiy manbai;
- Galenit (PbS) – qo'rg'oshinning asosiy manbai;
- Pirit (FeS₂) – temir sulfidi minerali;
- Xalkopirit (CuFeS₂) – mis va temir sulfidi minerali;
- boshqa qo'shimcha mineral komponentlar.

Mazkur minerallar o'zaro murakkab bog'langan fazaviy tizimni hosil qiladi (1-rasm). Shu sababli ularni qayta ishlash jarayonida fazalararo taqsimlanish, selektiv eritish va ajratish mexanizmlarini chuqur o'rganish zarur hisoblanadi.



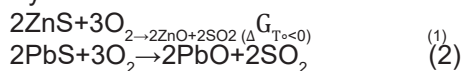
1-rasm. Galenit (PbS), Sfalerit (ZnS) va Pirit (FeS₂)¹

Ushbu minerallarning mineralogik tarkibi ulardan rux va qo'rg'oshinni selektiv ajratish texnologiyasini tanlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega. Sulfidli rudalarni qayta ishlash jarayonida odatda dastlab kuydirish (oksidlanish) bosqichi amalga oshiriladi, shundan so'ng metall ajratish jarayonlariga o'tiladi.

Metallurgik jarayonning dastlabki pirometallurgik bosqichida rux (Zn) va qo'rg'oshin (Pb) saqllovchi sulfidli xom ashyolar yuqori harorat sharoitida fizik-kimyoviy o'zgarishlarga uchraydi va natijada metallarning fazaviy ajralishi ta'minlanadi. Mazkur bosqich quyidagi asosiy jarayonlarni o'z ichiga oladi:

- oksidlovchi kuydirish,
- qaytaruvchi eritish,
- fazalararo taqsimlanish va distillyatsiya.

Sulfidlarning oksidlovchi kuydurish. Sfalerit (ZnS) va galenit (PbS) ning oksidlanishi quyidagi asosiy reaksiyalar bilan ifodalanadi:



Standart Gibbs erkin energiyasi (ΔG°) qiymatlari 600–1000°C oralig'ida manfiy bo'lib, reaksiyalar o'z-o'zidan borishini ko'rsatadi.

Standart Gibbs erkin energiyasi (ΔG°) qiymatlari 600–1000°C oralig'ida manfiy bo'lib, reaksiyalar o'z-o'zidan borishini ko'rsatadi. Ellingham diagrammasi asosida PbO ning barqarorligi ZnO ga nisbatan yuqoriroq past temperaturada hamda yuqori temperaturada ZnO ning qaytarilishi nisbatan murakkabroq bo'ladi. Bunda termodinamik selektivlik sharti $\Delta G_{\text{PbO}}^\circ < \Delta G_{\text{ZnO}}^\circ$ bo'ladi [9]. Ushbu farq keyingi qaytarilish bosqichida metallarning turlicha xatti-harakatini belgilab beradi.

Qattiq fazali diffuziya va gaz–qattiq sistema kinetikasida sulfidli rux va qo'rg'oshin rudalarini oksidlovchi kuydirish jarayoni gaz–qattiq sistema sharoitida kechadigan murakkab geterogen jarayon hisoblanadi. Ushbu jarayonning tezligi va selektivligi asosan kislorodning zarracha yuzasiga yetib borishi, sirt reaksiyasining borishi va hosil bo'lgan mahsulot qatlamidan gazlarning diffuziyasi bilan belgilanadi. Jarayonning mexanizmini chuqur

¹ Muallif ishlanmasi

tushunish pirometallurgik bosqichni optimallashtirishda muhim nazariy ahamiyat kasb etadi. Kuydirish jarayoni odatda uch asosiy ketma-ket bosqich orqali amalga oshadi:

Kuydirish jarayoni odatda uch asosiy ketma-ket bosqich orqali amalga oshadi:

- Tashqi diffuziya bosqichi – kislorodning gaz fazadan zarracha yuzasiga o'tishi;
 - Sirt reaksiyasi bosqichi – sulfidning oksidga aylanishi;
 - Ichki diffuziya bosqichi – hosil bo'lgan oksid qavati orqali gazlarning (O_2 kirishi va SO_2 chiqishi) diffuziyasi [6].
- Jarayonning umumiy tezligi ushbu bosqichlardan eng sekin kechadigan bosqich bilan belgilanadi.

MAVZUGA OID ADABIYOTLAR SHARHI

Rux va qo'rg'oshinni selektiv ajratib olish texnologiyasi rangli metallurgiyada ko'p bosqichli va murakkab fizik-kimyoviy jarayon sifatida keng o'rganilgan. Xalqaro ilmiy adabiyotlarda kombinatsiyalashgan piro-metallurgik va gidro-metallurgik jarayonlarning nazariy asoslari, ayniqsa ularning termodinamik va kinetik qonuniyatlari chuqur tahlil qilingan.

Biswas va Davenport tomonidan yaratilgan "Extractive Metallurgy of Lead and Zinc" asarida sulfidli rux va qo'rg'oshin rudalarini qayta ishlashning an'anaviy hamda kombinatsiyalashgan texnologiyalari batafsil yoritilgan. Mazkur tadqiqotlarda oksidlovchi kuydirish, qaytaruvchi eritish hamda fazalararo taqsimlanish mexanizmlari ilmiy asosda izohlangan. Habashi esa ekstraktiv metallurgiyaning umumiy nazariyasi doirasida sulfidlarning oksidlanish termodinamikasi, Gibbs erkin energiyasi hamda Ellingham diagrammalari asosida selektivlik shartlarini nazariy jihatdan asoslab bergan.

Rosenqvist hamda Schlesinger va hammualliflar tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda metall–shlak–gaz fazalari o'rtasidagi muvozanat, taqsimlanish koeffitsientlari hamda qaytaruvchi potensialning selektiv ajratish jarayonidagi roli keng ko'lamda tahlil qilingan.

Gaz–qattiq tizimlarda sodir bo'ladigan geterogen reaksiyalar mexanizmi Szekely, Evans va Sohn tomonidan ishlab chiqilgan "Shrinking Core Model" asosida izohlanadi. Ushbu model sulfidli zarrachalarning oksidlanish kinetikasini tavsiflashda hamda ichki diffuziya bosqichining jarayon tezligiga ta'sirini aniqlashda muhim nazariy vosita hisoblanadi. Shuningdek, Levenspielning kimyoviy reaksiya muhandisligi sohasidagi ishlari jarayon tezligini cheklovchi bosqichlarni aniqlash hamda metallurgik jarayonlarni sanoat miqyosida optimallashtirish masalalarini yoritadi.

Wills va Napier-Munn tomonidan taklif etilgan mineral xom ashyoni qayta ishlash konsepsiyasida polimetall rudalarni kompleks qayta ishlash va ularni keyingi metallurgik bosqichlarga tayyorlash jarayonlari keng yoritilgan. International Lead and Zinc Study Group hamda US Geological Survey ma'lumotlarida esa rux va qo'rg'oshinning global ishlab chiqarish ko'rsatkichlari, xom ashyo bazasi hamda ikkilamchi resurslardan foydalanish istiqbollari tahlil qilinib, kombinatsiyalashgan texnologiyalarning iqtisodiy va texnologik ahamiyati asoslab berilgan.

O'zbekiston olimlari tomonidan ham rux va qo'rg'oshinni selektiv ajratib olish yo'nalishida muhim ilmiy natijalar qo'lga kiritilgan. Xususan, M. A. Sultonov va B. R. Mamatqulov tomonidan polimetall rudalarni kompleks qayta ishlash jarayonlarida fazalararo muvozanat hamda metall–shlak tizimida elementlarning taqsimlanish qonuniyatlari o'rganilgan. Ularning tadqiqotlarida qo'rg'oshinning metall fazada konsentratsiyalanishi hamda ruxning volatilizatsiyasi uchun optimal harorat va qaytaruvchi muhit parametrlari ilmiy asosda aniqlangan.

Sh. Sh. Turdiyev va U. X. Eshonqulov tadqiqotlarida flotatsion boyitish jarayonida reagent rejimlarini optimallashtirish orqali rux va qo'rg'oshin minerallarining selektiv ajralishini oshirish imkoniyatlari ko'rsatib berilgan. Shuningdek, A. A. Abdurahmonov va D. Q. Haqberdiyev ishlarida texnogen chiqindilarni gidro-metallurgik usulda qayta ishlash, kislota eritmalarida selektiv eritish hamda ekstraksiya jarayonlari asosida yuqori darajada metall ajratib olish imkoniyatlari ilmiy jihatdan tahlil qilingan.

Mazkur tadqiqotlar kombinatsiyalashgan piro-gidro metallurgik texnologiyalarni ishlab chiqish va takomillashtirishda mahalliy ilmiy maktabning muhim hissasini namoyon etadi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Mazkur tadqiqotda rux (Zn) va qo'rg'oshin (Pb) saqllovchi polimetall rudalar hamda texnogen chiqindilardan metallarni selektiv ajratib olishning kombinatsiyalashgan piro-metallurgik va gidro-metallurgik usullari kompleks yondashuv asosida o'rganildi [1].

Tadqiqotning dastlabki bosqichida xom ashyoning mineralogik va kimyoviy tarkibi aniqlanib, sfalerit (ZnS), galenit (PbS) hamda ularni hamroh minerallarining miqdoriy nisbatlari baholandi. Ushbu tahlillar selektiv ajratish texnologiyasini tanlash va jarayon parametrlarini asoslash uchun muhim ahamiyat kasb etadi.



Pirometallurgik jarayon doirasida oksidlovchi kuydirish jarayoni 600–1000 °C harorat oralig'ida boshqariladigan gaz muhitida amalga oshirildi. Jarayon kinetikasi gaz–qattiq tizim mexanizmlari asosida tahlil qililib, reaksiyaning tezlikni cheklovchi bosqichlari aniqlashtirildi. Keyingi bosqichda qaytaruvchi eritish jarayoni o'rganilib, unda harorat, qaytaruvchi agent miqdori va gaz fazasi tarkibi o'zgartirildi. Natijada qo'rg'oshinning metall fazada konsentratsiyalanishi hamda ruxning yuqori harorat sharoitida bug' fazaga o'tishi jarayonlari kuzatildi. Jarayonning termodinamik imkoniyatlari Gibbs erkin energiyasi qiymatlari hamda fazaviy muvozanat qonuniyatlari asosida baholandi [10].

Hosil bo'lgan metall, shlak va gaz fazalaridagi rux hamda qo'rg'oshin miqdori kimyoviy analiz usullari yordamida aniqlanib, fazalararo taqsimlanish koeffitsientlari hisoblab chiqildi.

Gidrometallurgik bosqichda oksidlangan mahsulotlar kislotaga eritmalarida eritilib, selektiv eritish jarayonining asosiy parametrlari — eritma konsentratsiyasi, harorat va muhit reaksiyasi (pH) ko'rsatkichlari — optimallashtirildi. Eritmadan metallarni ajratib olish ekstraksiya yoki cho'ktirish usullari orqali amalga oshirildi.

Olingan eksperimental natijalar matematik-statistik tahlil usullari yordamida qayta ishlanib, metall ajralish darajasini oshirish, energiya sarfini kamaytirish hamda jarayon selektivligini kuchaytirishga xizmat qiluvchi optimal texnologik parametrlar aniqlab berildi.

TAHLIL VA NATIJALAR

Gaz–qattiq faza tizimining mexanikasi. Sfalerit (ZnS) yoki galenit (PbS) zarrachasi kislorod atmosferasida qizdirilganda dastlab zarracha sirtida oksidli qatlam hosil bo'ladi. Masalan: $\text{ZnS} + 1.5\text{O}_2 \rightarrow \text{ZnO} + \text{SO}_2$. Hosil bo'lgan ZnO qatlami keyingi bosqichda kislorodning ichki yadroga yetib borishini qiyinlashtiradi. Shu sababli jarayon ko'pincha "yadroning kichrayish modeli" (Shrinking Core Model) bilan tavsiflanadi. Bu modelga ko'ra, zarracha ichida reaksiya qilmagan sulfid yadrosi mavjud bo'lib, u vaqt o'tishi bilan kichrayib boradi, tashqi tomonda esa oksid qavati qalinlashadi.

Diffuziya nazariyasi. Ichki diffuziya Fikning birinchi qonuni bilan ifodalanadi: $J = -D (dC)/(dx)$. Yuqori aktivlanish energiyasi sirt reaksiyasi mexanizmini, past qiymatlar esa diffuzion nazoratni bildiradi.

Kislorodning qisman bosimi ham jarayon tezligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Reaksiya tezligi ko'pincha quyidagi ko'rinishda ifodalanadi: $r = k\text{PO}_2^n$.

Bu yerda n — reaksiya tartibi. Amaliy tajribalar shuni ko'rsatadiki, ZnS oksidlanishida $n \approx 0.5$ – 1 oralig'ida bo'ladi, bu jarayon mexanizmining murakkab ko'p bosqichli harakterini bildiradi. Gaz muhitida SO_2 ning to'planishi Le-Shatele prinsipiga ko'ra reaksiyani sekinlashtiradi. Shuning uchun sanoat pechlarida gazlar doimiy ravishda chiqarib turiladi [5].

Oksidlangan mahsulot (ZnO, PbO) koks yoki CO ishtirokida qaytariladi:



Standart erkin energiya o'zgarishi: $\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$

Rux yuqori temperaturada (900–1200°C) bug' holatiga o'tadi, qo'rg'oshin esa suyuq metall sifatida ajraladi.

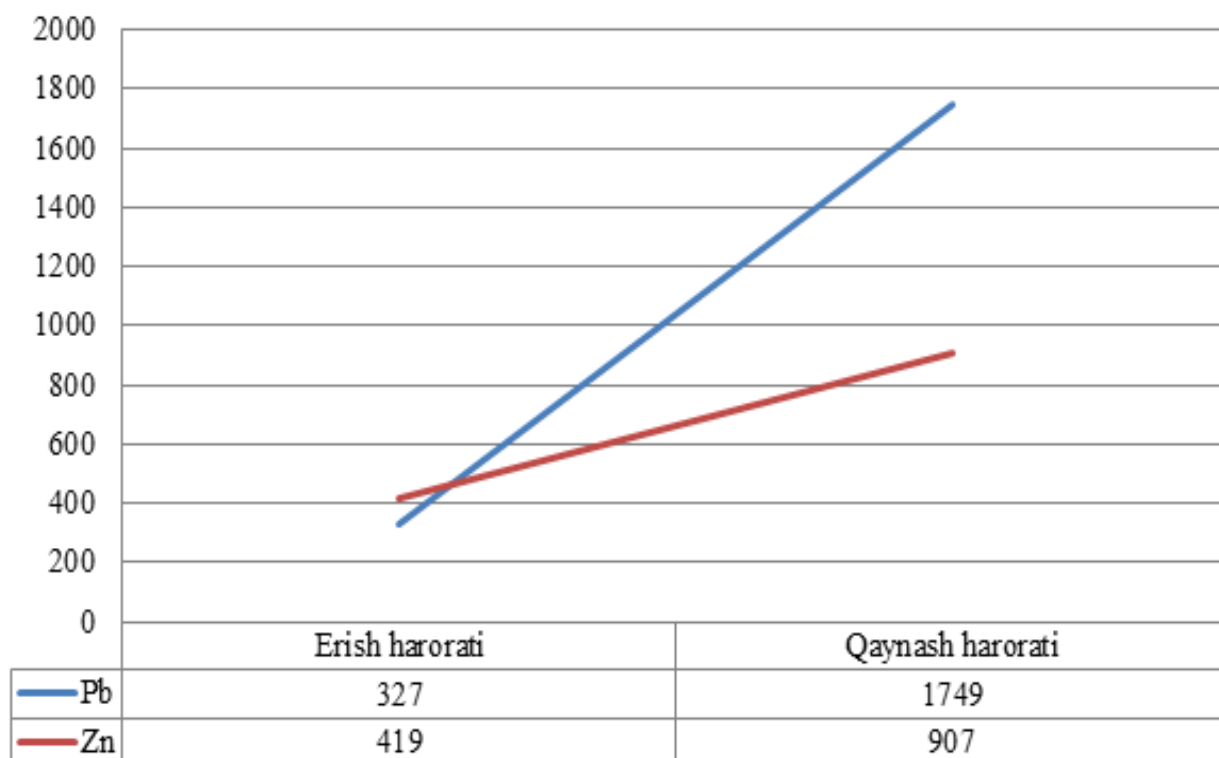
Fazaviy o'zgarish farqi selektiv ajratishning asosiy ilmiy omilidir (1-jadval).

1-jadval. Qattiq fazadagi Pb va Zn ning harorat ta'sirida fazaviy o'zgarishi²

Metall	Erish harorati	Qaynash harorati	Holati
Pb	327°C	1749°C	suyuq
Zn	419°C	907°C	bug'

1-jadval ma'lumotlari rux (Zn) va qo'rg'oshin (Pb) metallarining harorat ta'sirida fazaviy xatti-harakatlari sezilarli darajada farqlanishini ko'rsatadi. Qo'rg'oshinning erish harorati 327°C bo'lib, u nisbatan past temperaturada suyuq fazaga o'tadi va 1749°C gacha suyuq holatda saqlanib turadi. Ruxning erish harorati 419°C bo'lsa-da, uning qaynash harorati 907°C ni tashkil etadi, ya'ni yuqori harorat sharoitida rux bug' fazaga o'tish xususiyatiga ega. Ushbu fizik xossalr rux va qo'rg'oshinni pirometallurgik jarayonlarda selektiv ajratish uchun muhim ilmiy asos yaratadi: qo'rg'oshin metall fazada to'planishga moyil bo'lsa, rux yuqori temperaturada bug'lanib gaz fazaga o'tadi va keyinchalik kondensatsiya jarayonida ajratib olinadi.

Shu sababli harorat rejimini optimal boshqarish polimetall rudalarni qayta ishlashda selektivlikni oshirishning muhim texnologik omillaridan biri hisoblanadi (2-rasm).



2-rasm. Qattiq fazadagi Pb va Zn ning harorat ta'sirida fazaviy o'zgarishi diagrammasi³

Demak, Zn uchuvchan, Pb esa suyuq fazada qoladi. Pirometallurgik qayta ishlashda rux va qo'rg'oshinning selektiv ajralishi ko'p jihatdan metall faza–shlak faza–gaz faza o'rtasidagi muvozanat va moddaning taqsimlanish qonuniyatlari bilan belgilanadi. Eritish jarayonida shlak oksidli eritma sifatida namoyon bo'lib, uning tarkibi ($\text{FeO-SiO}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ va b.) metallarning shlakka o'tish yoki metall fazada qolish ehtimolini keskin o'zgartiradi [8]. Shlakning asosiy vazifasi – gang minerallarni va temir kabi hamroh komponentlarni bog'lab, metall fazani "tozalash", shu bilan birga rux va qo'rg'oshin yo'qotilishini minimal darajada ushlab turishdir.

Fazalararo taqsimlanish odatda metallning qaysi fazada ko'proq "barqaror" ekanini ko'rsatadigan taqsimlanish koeffitsienti bilan ifodalanadi. Amalda Pb ning metall fazaga moyilligi yuqori bo'lsa, Zn yuqori harorat sharoitida bug' fazaga o'tish (volatilizatsiya) xususiyati tufayli metall hammomda kamroq to'planadi. Shuning uchun selektiv ajratishning nazariy asosida ikki xil mexanizm yotadi: Pb ning metall fazada konsentratsiyalanishi va Zn ning gaz fazaga ko'chishi [3].

Shlak-metall muvozanatiga shlakning asosiyliigi (CaO/SiO_2), oksidlovchi-qaytaruvchi potentsiali ($\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ nisbati, CO/CO_2 nisbati), viskozligi va harorat kuchli ta'sir qiladi. Masalan, shlak asosiyliigi ortganda shlakning kislotaliligi kamayadi, metall oksidlarining erituvchanligi o'zgaradi va Pb ning shlakda "ushlanib qolishi" kamayishi mumkin. Boshqa tomondan, shlakning haddan tashqari viskozligi massoalmashinuvni sekinlashtiradi: metall tomchilari shlak ichida ko'proq vaqt ushlanib qoladi va qo'rg'oshinning mexanik yo'qotilishi ortadi. Shuning uchun shlak tarkibini boshqarish — selektivlikni boshqarish deganidir.

Amaliy nuqtai nazardan, optimal sharoitda Pb ning asosiy qismi metall fazaga (bullion) o'tadi, rux esa shlakka emas, aynan gaz fazaga o'tishga "undaladi". Bu holat kombinatsiyalashgan piro-gidro texnologiyaning keyingi bosqichi uchun qulay "ajratilgan" yarim mahsulotlar yaratadi: qo'rg'oshin boyitilgan metall faza va rux bug'i/kondensati yoki rux oksidi shaklidagi tutun changi.

Ruxning selektiv ajralishidagi eng muhim fizik-kimyoviy xususiyat — uning uchuvchanligi. Qaytaruvchi sharoitda ZnO ning qaytarilishi natijasida metall rux hosil bo'ladi, lekin jarayon temperaturasi 900°C va undan yuqori bo'lganda rux metall holatda "qolib" ketmaydi, balki deyarli darhol bug' fazaga o'tadi. Shuning uchun piro-metallurgik tizimda ruxning ajralishi ko'pincha "metall faza orqali emas", balki "gaz faza orqali" amalga oshadi [7].

Bu mexanizm nazariy jihatdan ikki bosqichga ajraladi:

- ZnO ning qaytarilishi va Zn(g) hosil bo'lishi;

3 Muallif ishlanmasi



- Qaytaruvchi agent sifatida C yoki CO ishtirok etadi. Qaytarilish kuchaygan sari ruxning gaz fazadagi qisman bosimi ortadi va jarayon oldinga siljiydi;
- Zn bug'ining transport va kondensatsiyasi;
- Hosil bo'lgan Zn bug'i pech ichidagi gaz oqimi bilan ko'chadi.

Agar sovitish zonasi yoki kondensator samarali ishlasa, Zn(g) tezda sovib Zn(l) sifatida kondensatsiyalanadi. Ammo sanoat amaliyotida rux bug'i kislorod izlari yoki CO₂ bilan uchrashsa, qayta oksidlanib ZnO changi ko'rinishida ajralib chiqishi mumkin. Shu sababli piro-bosqichda ruxni "toza metall" sifatida olish bilan "rux oksidi fume" sifatida olish o'rtasida texnologik tanlov mavjud bo'ladi.

Kondensatsiya mexanizmi massoalmashinuv va issiqlik almashinuv bilan bog'liq: gazning sovishi tez bo'lsa, mayda dispers ZnO aerollari hosil bo'lish ehtimoli ortadi; sovitish nazoratli bo'lsa, metall rux kondensati olish mumkin. Demak, ruxning selektiv ajralishida faqat termodinamik emas, balki gaz gidrodinamikasi, sovitish tezligi va kondensator dizayni ham hal qiluvchi rol o'ynaydi.

Piro-metallurgik jarayonlar nazariy jihatdan muvozanat termodinamikasi bilan "chegaralanadi": har qanday reaksiyaning qaysi yo'nalishda borishi va qanchalik chuqur borishi Gibbs erkin energiyasi bilan belgilanadi. Qaytarilish jarayonida CO/CO₂ nisbatining oshishi, temperatura ko'tarilishi va kislorod potensialining pasayishi ZnO va PbO ning metall holatga o'tishini osonlashtiradi. Biroq selektiv ajratish nuqtai nazaridan "maksimal qaytarilish" har doim ham "maksimal selektivlik" degani emas.

Masalan, agar tizim juda kuchli qaytaruvchi bo'lib ketsa, shlakdagi ayrim komponentlar (FeO va b.) ham qaytarilib, metall faza tarkibini murakkablashtirishi, shlakning xossalari o'zgartirishi va natijada qo'rg'oshin hamda rux yo'qotilishiga olib kelishi mumkin. Shuning uchun optimal rejim — Zn va Pb ni maqsadli ajratib beradigan, ammo shlakning "yomonlashishiga" yo'l qo'ymaydigan rejimdir.

Optimallikni belgilovchi asosiy nazariy omillar:

- harorat: ruxning volatilizatsiyasi uchun yetarli, Pb ning metall fazada qolishi uchun qulay bo'lishi kerak;
- qaytaruvchi potensial: ZnO qaytarilib bug'ga o'tsin, PbO qaytarilib metall fazada yig'ilsin, lekin temir va boshqa oksidlarning keraksiz qaytarilishi minimal bo'lsin;
- gaz rejimi: SO₂ va boshqa gazlarning tez chiqarilishi, reaksiya mahsulotlarining to'planib qolmasligi selektivlikni oshiradi.

Shu ma'noda, piro-bosqich "muvozanatga yaqin" ishlasa ham, real sanoat sharoitida kinetik cheklovlar, massoalmashinuv va issiqlik tarqalishi jarayon optimalligini belgilab beradi.

Piro-metallurgiya energetik jihatdan intensiv soha bo'lib, jarayonning iqtisodiy samaradorligi ko'p jihatdan issiqlikdan foydalanish darajasiga bog'liq. Sulfidlarning oksidlanishi odatda ekzotermik, ya'ni issiqlik ajratadi; qaytaruvchi eritish va shlak hosil bo'lish jarayonlari esa ba'zan qo'shimcha issiqlik talab qilishi mumkin. Shuning uchun texnologiya ko'pincha "issiqlikni bir bosqichdan boshqasiga uzatish" tamoyili asosida quriladi.

Energetik tahlilda quyidagilar hisobga olinadi:

- xom ashyo va havo/kislorodni qizdirishga ketadigan issiqlik;
- sulfid oksidlanishidan ajraladigan issiqlik;
- shlak va metallni eritish uchun sarflanadigan issiqlik;
- gazlar bilan chiqib ketadigan issiqlik va pech devorlari orqali yo'qotishlar.

Nazariy jihatdan, agar kuydirish bosqichida ajralib chiqadigan ekzotermik issiqlik maksimal darajada utilizatsiya qilinsa (masalan, havoni oldindan qizdirish yoki bug'-energiya ishlab chiqarish orqali), umumiy energiya sarfi sezilarli darajada kamayadi. Bunda ishlatiladigan pech turi ham muhim ahamiyatga ega. Xususan, fluidizatsion kuydirish pechlari issiqlik va massoalmashinuv jarayonlarini intensivlashtirib, jarayonning umumiy energiya samaradorligini oshiradi. Energetik optimallashtirish selektivlikka ham bilvosita ta'sir ko'rsatadi, chunki harorat rejimining barqarorligi metallarning fazalararo taqsimlanishini samarali boshqarish imkonini beradi.

Pirometallurgik bosqich rux va qo'rg'oshinni selektiv ajratish jarayonining asosiy nazariy negizi hisoblanadi. Ushbu bosqich bir vaqtning o'zida termodinamik imkoniyatlar, kinetik cheklovlar hamda fazalararo muvozanat qonuniyatlariga tayanadi. Selektiv ajratishning ilmiy mohiyati quyidagicha izohlanadi: qo'rg'oshin oksidi nisbatan oson qaytarilib, metall fazada to'planadi, rux oksidi esa qaytarilgandan so'ng yuqori uchuvchanligi sababli gaz fazaga o'tadi va keyinchalik kondensatsiya yoki fume (ZnO changi) ko'rinishida ajratib olinadi. Demak, selektiv ajratish jarayoni nafaqat kimyoviy xossalardagi farq, balki metallarning turli fazalarda taqsimlanishi bilan ham belgilanadi.

Shlakning tarkibi va fizik-kimyoviy xossalari pirometallurgik bosqichning muhim regulyatori hisoblanadi. Shlak metall yo'qotilishini kamaytirishi yoki, aksincha, oshirishi mumkin. Shu sababli shlakning asosiyli, oksidlovchi-qaytaruvchi potentsiali hamda viskozligini nazorat qilish selektiv ajratish jarayonini boshqarishning ilmiy asoslangan vositalaridan biri hisoblanadi.

Energetik nuqtai nazardan esa sulfidlarning ekzotermik oksidlanishida ajralib chiqadigan issiqlikni samarali utilizatsiya qilish jarayonning barqarorligini ta'minlaydi hamda ishlab chiqarishning umumiy iqtisodiy samaradorligini oshiradi.



XULOSA VA TAKLIFLAR

Olib borilgan tadqiqotlar natijasida rux va qo'rg'oshin saqllovchi polimetall rudalar hamda texnogen chiqindilarni kombinatsiyalashtirish piro-metallurgik va gidro-metallurgik usulda qayta ishlash selektiv ajratish samaradorligini sezilarli darajada oshirishi aniqladi.

Pirometallurgik bosqichda sulfidlarining oksidlovchi kuydirilishi va keyingi qaytaruvchi eritish jarayonlari natijasida qo'rg'oshinning metall fazada konsentratsiyalanishi hamda ruxning yuqori harorat sharoitida bug' fazaga o'tishi fizik-kimyoviy jihatdan asoslandi. Tadqiqot natijalari jarayon selektivligi nafaqat termodinamik omillar bilan, balki kinetik sharoitlar, gaz muhitining tarkibi, shlak fazasining xossalari va qaytaruvchi potensial bilan ham belgilanishini ko'rsatdi.

Gidrometallurgik bosqichda eritish muhitining pH ko'rsatkichi, kislotada konsentratsiyasi va harorat parametrlarini boshqarish orqali rux va qo'rg'oshinni eritmada selektiv ajratish imkoniyati tajribaviy jihatdan tasdiqlandi. Bu esa kombinatsiyalashtirish texnologiyalarni qo'llash polimetall xom ashyoni kompleks qayta ishlashda yuqori samaradorlikka erishish imkonini berishini ko'rsatadi.

Tadqiqot natijalariga asoslanib quyidagi amaliy takliflar ilgari suriladi:

- pirometallurgik bosqichda harorat va gaz muhitini optimal darajada boshqarish orqali ruxning volatilizatsiyasini kuchaytirish hamda qo'rg'oshinning metall fazadagi yo'qotilishini kamaytirish;
- shlak tarkibini ilmiy asosda boshqarish orqali metall yo'qotilishini minimallashtirish;
- gidrometallurgik bosqichda eritish jarayonini optimallashtirish hamda selektiv ekstraksiya usullarini keng joriy etish;
- texnogen chiqindilarni qayta ishlash orqali qo'shimcha metall resurslarini ishlab chiqarish jarayoniga jalb qilish;
- energiya samaradorligini oshirish va ekologik xavfsizlikni ta'minlash maqsadida chiqindi gazlarni utilitatsiya qilish tizimlarini takomillashtirish.

Taklif etilgan yondashuvlar sanoat sharoitida rux va qo'rg'oshinni yuqori darajada ajratib olish, polimetall xom ashyodan kompleks va samarali foydalanish hamda metallurgiya jarayonlarining iqtisodiy va ekologik samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Biswas A., Davenport W.G. Extractive Metallurgy of Lead and Zinc. – Oxford: Pergamon Press, 1994. – 544 p.
2. Davenport W.G., King M.J., Schlesinger M.E., Biswas A. Extractive Metallurgy of Copper. 5th ed. – Amsterdam: Elsevier, 2011. – 720 p.
3. Habashi F. Principles of Extractive Metallurgy. Vol. 1: General Principles. – New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1969. – 384 p.
4. International Lead and Zinc Study Group. World Directory of Primary and Secondary Lead and Zinc Operations. – Lisbon: ILZSG, 2022.
5. Турдиев Ш.Ш., Эшонкулов У.Х., Хакбердиев Д.К. Совершенствование технологий флотационного обогащения полиметаллических руд: реагентные режимы и эффективность процессов // Sanoatda raqamli texnologiyalar / Цифровые технологии в промышленности. – 2025. – №3(2). – С. 20–26.
6. Levenspiel O. Chemical Reaction Engineering. 3rd ed. – New York: John Wiley & Sons, 1999. – 684 p.
7. Rosenqvist T. Principles of Extractive Metallurgy. 2nd ed. – Trondheim: Tapir Academic Press, 2004. – 512 p.
8. Schlesinger M.E., King M.J., Sole K.C., Davenport W.G. Extractive Metallurgy of Nickel, Cobalt and Platinum Group Metals. – Amsterdam: Elsevier, 2011. – 456 p.
9. Szekely J., Evans J.W., Sohn H.Y. Gas–Solid Reactions. – New York: Academic Press, 1976. – 400 p.
10. U.S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries 2023: Zinc; Lead. – Washington: U.S. Department of the Interior, 2023.
11. Wills B.A., Napier-Munn T. Wills' Mineral Processing Technology. 8th ed. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2016. – 498 p.
12. Хужакулов Н.Б., Рузиев У.М., Насирова Н.Р. Исследование влияния качества биокека на показатели сорбционного выщелачивания // Universum: технические науки. – 2021. – №5–2(86). – С. 20–23.
13. Ruziyev U.M. Enhancing solid–liquid separation in nitric acid leaching of low-grade alumina ores // International Scientific Journal. – 2025.

muhandislik **& iqtisodiyot**

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Ingliz tili muharriri: Feruz Hakimov

Musahhih: Zokir Alibekov

Sahifalovchi va dizayner: Abdurahmon Qurbonov

2026. № 3

© Materiallar ko'chirib bosilganda "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali manba sifatida ko'rsatilishi shart. Jurnalda bosilgan material va reklamalardagi dalillarning aniqligiga mualliflar ma'sul. Tahririyat fikri har vaqt ham mualliflar fikriga mos kelamasligi mumkin. Tahririyatga yuborilgan materiallar qaytarilmaydi.

"Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali 26.06.2023-yildan
O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Adminstratsiyasi huzuridagi
Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi tomonidan
№S-5669245 reyestr raqami tartibi bo'yicha ro'yxatdan o'tkazilgan.
Litsenziya raqami: №095310.

**Manzilimiz: Toshkent shahri Yunusobod
tumani 15-mavze 19-uy**





+998 93 718 40 07



<https://muhandislik-iqtisodiyot.uz/index.php/journal>



t.me/yait_2100