

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY TA’LIM, FAN VA INNOVATSIALAR VAZIRLIGI
TERMIZ DAVLAT MUHANDISLIK VA AGROTEXNOLOGIYALAR
UNIVERSITETI**

RAXIMOV ABBOS AKBARALI O‘G‘LINING

**POLIMETAL RUDALARDAN RUX VA MISNI AJRATIB OLISH
TEXNOLOGIYASINI TAKOMILLASHTIRISH**

DISSERTATSIYA

**70710101-Kimyoviy texnologiya (Noorganik moddalar texnologiyasi)
mutaxassisligi bo'yicha akademik magistratura uchun**

Ilmiy rahbar, t.f.f.d. dots

Z.Misirov

Termiz-2026 yil

MUNDARIJA

	KIRISH.....	3
I BOB	POLIMETALL RUDALAR VA ULARDAN MIS HAMDA RUX AJRATIB OLISHNING NAZARIY ASOSLARI.....	9
I.1.	Polimetall rudalar haqida umumiy tushuncha va ularning tarkibi...	9
I.2.	Mis va ruxning fizik-kimyoviy xossalari.....	20
I.3.	Polimetall rudalardan metall ajratib olish usullari.....	29
II BOB	TADQIQOT OBYEKTIVA EKSPERIMENTAL USULLAR.	35
II.1.	Tadqiqot obyekti polimetall rudaning tavsifi.....	35
II.2.	Ruda tarkibini aniqlash usullari.....	42
III BOB	OLINGAN NATIJALAR TAHLILI VA TEXNIK-IQTISODIY BAHOLASH.....	54
III.1.	Tajriba natijalarini tahlil qilish.....	54
III.2.	Mis va rux ajralish darajasini baholash.....	62
III.3.	Taklif etilgan texnologiyaning samaradorligi.....	65
IV BOB	MEHNAT MUHOFAZASI VA EKOLOGIK XAVFSIZLIK...	69
IV.1.	Ishlab chiqarishda xavfsizlik choralari.....	69
IV.2.	Zararli moddalarning ta'siri va himoya usullari.....	70
IV.3	Ekologik xavfsizlikni ta'minlash.....	72
	UMUMIY XULOSALAR.....	73
	FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR.....	75

KIRISH

Hozirgi kunda global sanoat rivojlanishi sharoitida rangli metallarga, xususan mis va ruxga bo‘lgan talab keskin ortib bormoqda. Ushbu metallar elektrotexnika, energetika, mashinasozlik va qurilish sohalarida muhim strategik xomashyo hisoblanadi. Shu bilan birga, mavjud boyrudalar zaxirasining kamayib borayotgani va murakkab tarkibli polimetall rudalarning ulushi ortishi ularni qayta ishlash texnologiyalarini takomillashtirish zaruratini yuzaga keltirmoqda.

O‘zbekiston Respublikasida ham kon-metallurgiya sanoatini rivojlantirish, foydali qazilmalardan samarali foydalanish va yuqori qo‘shilgan qiymatli mahsulotlar ishlab chiqarishni kengaytirish davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Xususan, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining PQ-4041-son qarori bilan tasdiqlangan “Kon-metallurgiya tarmog‘ini jadal rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi qarorda mavjud xomashyo bazasidan kompleks foydalanish, yangi texnologiyalarni joriy etish hamda qayta ishlash samaradorligini oshirish zarurligi alohida ta’kidlangan.¹

Shuningdek, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining PQ-4899-son qarori doirasida rangli metallurgiya korxonalarini modernizatsiya qilish, energiya tejamkor va ekologik xavfsiz texnologiyalarni joriy etish hamda innovatsion ishlanmalarni ishlab chiqarishga tatbiq etish asosiy vazifalar qatoriga kiritilgan.

Mazkur normativ-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalar polimetall rudalarni qayta ishlash jarayonlarini takomillashtirish, xususan, mis va rux kabi qimmatli komponentlarni yuqori samaradorlik bilan ajratib olish texnologiyalarini ishlab chiqishni talab etadi.

Polimetall rudalarda foydali komponentlar murakkab bog‘langan bo‘lib, ularni selektiv ajratish jarayoni katta ilmiy va texnologik muammolarni keltirib chiqaradi. An’anaviy flotatsiya va gidrometallurgik usullar ko‘p hollarda yetarli darajada samarali emas, ular yuqori energiya sarfi, reagentlar iste’molining ko‘pligi hamda ekologik yuklamaning ortishi bilan tavsiflanadi. Shu sababli, zamonaviy

¹ O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2018-yil 29-noyabrda PQ-4041-son qarori “Kon-metallurgiya tarmog‘ini rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”.

ilmiy yondashuvlar asosida resurs tejamkor, yuqori selektivlikka ega va ekologik xavfsiz texnologiyalarni ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etadi. Yuqoridagilardan kelib chiqib, polimetall rudalardan mis va ruxni ajratib olish texnologiyasini takomillashtirish, jarayon samaradorligini oshirish va ishlab chiqarishga zamonaviy innovatsion yechimlarni joriy etish mazkur tadqiqot ishining dolzarbligini belgilaydi.

Polimetall rudalar tarkibida bir vaqtning o'zida bir nechta foydali komponentlar, jumladan mis, rux, qo'rg'oshin va boshqa elementlar mavjud bo'lgan murakkab mineral xomashyodir. Bunday rudalarni qayta ishlashda asosiy muammo metallarning o'zaro yaqin fizik-kimyoviy xossalari tufayli ularni selektiv ajratib olishning murakkabligidir. An'anaviy texnologiyalar, xususan flotatsiya va gidrometallurgiya usullari keng qo'llanilishiga qaramasdan, ular ko'pincha yuqori energiya sarfi, past selektivlik, reaktivlar sarfining ko'pligi hamda ekologik muammolar bilan tavsiflanadi. So'nggi yillarda zamonaviy ilm-fan yutuqlari asosida polimetall rudalarni qayta ishlash texnologiyalarini takomillashtirish bo'yicha keng ko'lamli tadqiqotlar olib borilmoqda. Xususan, yuqori samarali flotatsion reagentlar, nanozarrachalar asosidagi modifikatorlar, bioflotatsiya, hamda kombinatsiyalashgan (flotatsiya–gidrometallurgiya) usullarni qo'llash orqali metall ajratib olish samaradorligini oshirishga erishilmoqda. Shu bilan birga, raqamli texnologiyalar, sun'iy intellekt asosida jarayonlarni optimallashtirish, avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari va energiya tejamkor uskunalardan foydalanish bugungi kunda ushbu sohaning rivojlanishida muhim ahamiyat kasb etmoqda. Shu nuqtai nazardan, polimetall rudalardan mis va ruxni ajratib olish texnologiyasini takomillashtirish, jarayonlarning selektivligini oshirish, resurslardan kompleks foydalanish hamda ekologik xavfsizlikni ta'minlash muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

Zamonaviy metallurgiya sanoatidagi asosiy muammolardan biri shundaki, xom materiallardan rangli metallarni o'z ichiga olgan asosiy va qo'shimcha qimmatbaho mahsulotlarni qazib olishning to'liqligini oshirish orqali eng samarali foydalanish kerak. Ushbu maqsadga erishish uchun foydalaniladigan kalitlardan biri shlaklar va

chiqindilarni qayta ishlashdir. Mis va boshqa metallar Rossiya metallurgiyasida muhim rol o'ynaydi va shu bilan ishlab chiqarishning umumiy hajmiga sezilarli hissa qo'shadi. Mutaxassislarning hisob-kitoblariga ko'ra, Rossiyada mis, rux, qo'rg'oshin, nikel, kobalt, volfram, molibden, qalay, alyuminiy va boshqa metall ishlab chiqarish chiqindilarida 8 million tonnadan ortiq mis, 9 million tonna rux va boshqa qimmatli komponentlar mavjud.

Bu qo'shimcha mahsulotlar chiqindilari sanoat uchun xom ashyo zaxirasi hisoblanadi. Hozirgi kunda chiqindilardan qimmatli komponentlarni samarali ajratib olish imkonini beruvchi texnologiyalar mavjud, bu esa tabiiy resurslarning tugab qolishi muhimroqdir [3,4]. Shunday qilib, texnogen mineral hosilalar mis kabi strategik metallarning tanqisligini qoplashi mumkin. Shu bilan birga, texnogen mineral hosilalarni qayta ishlash texnologiyasini ishlab chiqishda aylanib o'tuvchi rangli bo'lmagan metallarni ajratib olishga alohida e'tibor qaratish kerak.

SX-EW texnologiyasidan (erituvchi ekstraksiya elektroliz) foydalanish yuqori sifatli katodik mis olish imkonini beradi. Biroq, bu usulning bir kamchiligi bor: organik erituvchi tomonidan mis ekstraksiyasida hosil bo'lgan barqaror sirt yuzasida suspenziya moddasi. Suspenziya moddasi ekstraksiyani samarasiz qiladi va ekstraktant va suvli eritmaning yo'qotilishiga olib keladi [5,6]. Suyuq-suyuq ekstraksiya gidrometallurgiyada metallni tanlab ekstraksiya qilishning istiqbolli usuli bo'lib, u nisbatan oddiy uskunalardan foydalanishni o'z ichiga olgan uzluksiz ishlaydigan texnologik sxemalardan foydalanish imkonini beradi. Misni qayta ishlash jarayoni to'rtta asosiy bosqichdan iborat edi [7]. Mis-rux sulfid rudasi keng tarqalgan simbiotik minerallardir. Mis va ruxni mis konsentratiga va rux konsentratiga ajratish uchun intiyozli flotatsiya usuli bunday rudalar uchun keng tarqalgan ajratish usuli hisoblanadi [8,9]. Mis va rux mineralda chambarchas bog'liq bo'lganda va dissotsiatsiya qilish qiyin bo'lganda, intiyozli flotatsiya yordamida alohida mis va rux konsentratlariga ajratish jarayoni uzoq, qimmatga tushadi va umumiy metallni qayta tiklash darajasining pastligiga olib keladi [10]. Mineralda mis va ruxni boyitish uchun aralash flotatsiyadan foydalanish yuqori metallni qayta tiklash darajasiga erishish va umumiy metallni qayta tiklash darajasining yuqori

bo'lishiga erishish, chiqindilarda metall yo'qotishlarini kamaytirish, metall resurslarining isrof bo'lishini minimallashtirish imkonini beradi [11,12,13,14]. Biroq, mis-rux aralash konsentratlarining tarkibi hozirgi mis yoki rux eritish tizimlarining talablariga javob bermaydi. Shuning uchun, mis-rux aralash konsentratlaridan mis va ruxni ajratib olish usullarini o'rganish zarur.

Mis-rux aralash sulfid konsentratlaridan mis va ruxni ajratib olishning ikkita usuli mavjud: yuqori bosimli eritish va atmosferada eritish [15,16]. Yuqori bosimli eritish dastlabki sulfat kislota konsentratsiyasi 150 g/L, suyuqlik-qattiq nisbati 6:1 va harorat 150 °C ni o'z ichiga oladi. Bu usul bir vaqtning o'zida mis va rux metallarini eritib yuborishi mumkin, shu bilan birga minerallardagi oltingugurtning 68,3% ni sulfat ionlariga aylantiradi [17]. Yuqori bosimli eritish paytida misni cho'ktiradigan ionlarni qo'shish ruxning eritmaga kirishiga imkon beradi, mis esa eritish qoldig'ida qoladi va shu bilan eritish paytida mis va ruxning ajralishiga erishiladi [18]. Atmosferada eritish 40 g/L sulfat kislota 10:1 suyuqlik-qattiq nisbatda va 90 °C atrofida haroratda 30 soat davomida ishlatishni o'z ichiga oladi. Minerallar tarkibidan rux va misni eritish tezligi mos ravishda taxminan 41,9% va 14,6% ni tashkil qiladi. Yuqori bosimli eritib yuborish ruxni eritib yuborish tezligini oshiradi, ammo zarur uskunalar tufayli yuqori investitsiyalar va murakkab operatsiyalarni talab qiladi [19]. Atmosfera sharoitida eritib yuborish, kamroq investitsiyalar va soddalar operatsiyalarni talab qilsa-da, odatda hozirgi tadqiqotlarga asoslanib, metallni eritib yuborish tezligining pasayishiga olib keladi. Atmosfera sharoitida mis va ruxni eritib yuborish tezligini oshirish usullarini o'rganish aralash rudalardan mis va ruxni arzon narxlarda ajratib olishga yordam berishi mumkin. Mis-rux sulfid rudasi murakkab mineral bo'lib, uni ishlatish nisbatan qiyin. Yuqori bosimli eritish hozirda bunday rudalardan mis va ruxni eritishning yagona samarali usuli hisoblanadi. Biroq, yuqori bosimli eritish uchun uskunalar murakkab va katta investitsiyalarni talab qiladi, shuning uchun mis va rux sulfid rudalarini amalga oshirish osonroq va tejamkorroq bo'lgan eritish usullarini o'rganish zarur. Sulfat kislotasini faollashtirish-suv bilan eritish usuli turli minerallardan yoki eritish shlaklaridan metallarni ajratib olish uchun keng qo'llanilgan [20,21,22,23,24].

Mavzuning dolzarbligi. Hozirgi global sanoat rivojlanishi sharoitida rangli metallarga, xususan mis va ruxga bo'lgan talab keskin ortib bormoqda. Ushbu metallar elektrotexnika, energetika, avtomobilsozlik, qurilish va yuqori texnologiyali ishlab chiqarish tarmoqlarining asosiy xomashyosi hisoblanadi. Shu bilan birga, boy rudalar zaxirasining kamayib borayotgani va murakkab tarkibli polimetall rudalarning ulushi ortib borayotgani ularni qayta ishlash texnologiyalarini takomillashtirishni talab etmoqda.

Polimetall rudalarda foydali komponentlar o'zaro murakkab bog'langan bo'lib, ularni selektiv ajratib olish katta ilmiy va texnologik muammo hisoblanadi. An'anaviy flotatsiya va gidrometallurgik usullar ko'plab hollarda yetarli samaradorlik bermaydi, yuqori energiya sarfi, reagentlarning ko'p ishlatilishi va ekologik muammolarni keltirib chiqaradi. Shu sababli, zamonaviy texnologiyalar asosida yuqori samarador, resurs tejamkor va ekologik xavfsiz usullarni ishlab chiqish dolzarb masala hisoblanadi.

Tadqiqotning maqsadi va vazifalari. Polimetall rudalardan mis va ruxni ajratib olish texnologiyasini takomillashtirish, yuqori selektivlik va samaradorlikka erishuvchi optimal texnologik sharoitlarni aniqlashdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

- Polimetall rudalarning mineralogik va kimyoviy tarkibini o'rganish;
- Mis va rux ajratib olishning mavjud texnologiyalarini tahlil qilish;
- Flotatsiya jarayonining asosiy parametrlarini aniqlash va optimallashtirish;
- Selektiv ajratishni oshiruvchi reagentlar ta'sirini tadqiq etish;
- Gidrometallurgik jarayonlarni takomillashtirish;
- Kombinatsiyalashgan texnologik sxema ishlab chiqish;
- Jarayon samaradorligini texnik-iqtisodiy baholash.

Tadqiqot obyekti va predmeti. Mis va rux saqlovchi polimetall rudalar.

Tadqiqot predmeti:

Polimetall rudalardan mis va ruxni ajratib olish jarayonlari, ularning texnologik parametrlarini optimallashtirish va samaradorligini oshirish usullari.

Ilmiy yangiligi

- Polimetall rudalardan mis va ruxni selektiv ajratib olishning takomillashtirilgan texnologik yondashuvi ishlab chiqildi;
- Flotatsiya jarayonida qo'llaniladigan yangi reagentlar va ularning ta'sir mexanizmi ilmiy asosda o'rganildi;
- Kombinatsiyalashgan (flotatsiya va gidrometallurgiya) usulning samaradorligi asoslab berildi;
- Jarayon parametrlarining optimal qiymatlari aniqlanib, metall ajratib olish darajasi oshirildi.

Amaliy ahamiyati

Tadqiqot natijalari asosida ishlab chiqilgan texnologiya:

- sanoat korxonalarida qo'llash imkoniyatiga ega;
- mis va rux ajratib olish darajasini sezilarli oshiradi;
- energiya va reagent sarfini kamaytiradi;
- chiqindilar miqdorini qisqartirib, ekologik xavfsizlikni ta'minlaydi;
- iqtisodiy samaradorlikni oshirishga xizmat qiladi.

Tadqiqot metodlari

Dissertatsiyada quyidagi ilmiy tadqiqot usullaridan foydalanildi:

- kimyoviy va fizik-kimyoviy tahlil usullari;
- laboratoriya flotatsiya tajribalari;
- gidrometallurgik eritish va ajratish usullari;
- matematik modellashtirish va optimallashtirish;
- statistik tahlil va natijalarni qayta ishlash usullari.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 2ta maqola va 2ta tezis lari turli ilmiy anjumanlarda va ilmiy ahamiyatga ega bo'lgan jurnallarda nashr etilgan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 80 betni tashkil qiladi.

I BOB. POLIMETALL RUDALAR VA ULARDAN MIS HAMDA RUX AJRATIB OLIHNING NAZARIY ASOSLARI

1.1. Polimetall rudalar haqida umumiy tushuncha va ularning tarkibi

Polimetall rudalar tarkibida bir vaqtning o'zida bir nechta foydali metallarni (mis, rux, qo'rg'oshin, temir, oltin va boshqalar) saqlovchi murakkab mineral xomashyo hisoblanadi. Ushbu rudalar asosan sulfid minerallar ko'rinishida uchraydi, ya'ni xalkopirit (CuFeS_2), sfalerit (ZnS), galenit (PbS) va pirit (FeS_2) kabi minerallar asosiy tarkibni tashkil etadi. Polimetall rudalar geologik jihatdan gidrotermal jarayonlar natijasida hosil bo'lib, ularning tuzilishi va mineral tarkibi juda murakkab bo'ladi. Bu esa ularni qayta ishlash jarayonini sezilarli darajada qiyinlashtiradi. Shu sababli, bunday rudalarni samarali qayta ishlash uchun kompleks va selektiv texnologiyalar talab etiladi. Polimetall rudalar sanoatda katta ahamiyatga ega bo'lib, ular metallurgiya sanoati uchun muhim xomashyo bazasini tashkil etadi. Ayniqsa, zamonaviy iqtisodiyotda rangli metallar ishlab chiqarish hajmining ortib borishi bilan bunday rudalarga bo'lgan ehtiyoj ham sezilarli darajada oshmoqda. Biroq, ularning murakkab tarkibi sababli qayta ishlash jarayonlari oddiy monometall rudalarga nisbatan ancha murakkab hisoblanadi.

Polimetall rudalarning kelib chiqishi (genezisi)

Polimetall rudalar asosan geologik jarayonlar natijasida hosil bo'ladi. Ularning shakllanishi bir necha asosiy mexanizmlar orqali amalga oshadi:

1. Gidrotermal jarayonlar. Eng keng tarqalgan polimetall rudalar gidrotermal kelib chiqishga ega. Yer qa'ridagi issiq eritmalar (gidrotermal eritmalar) metall ionlarini o'zida eritgan holda harakatlanadi va ma'lum sharoitlarda sovib, mineral shaklida cho'kadi. Natijada turli metallarning aralash konlari hosil bo'ladi.

2. Magmatik jarayonlar. Ba'zi polimetall rudalar magmatik faoliyat bilan bog'liq bo'lib, magma sovishi jarayonida turli metall minerallari ajralib chiqadi. Bunda minerallar kristallanish ketma-ketligiga qarab ajraladi.

3. Metasomatik va kontakt jarayonlar. Yer po'stining turli qatlamlari o'zaro ta'sirlashganda kimyoviy tarkib o'zgaradi va yangi mineral birikmalar hosil bo'ladi. Bu jarayonlar ham polimetall rudalar shakllanishiga olib keladi.

4. Sedimentogen jarayonlar. Ba'zi rudalar cho'kindi jinslar tarkibida to'planib, keyinchalik kimyoviy o'zgarishlar natijasida polimetall rudalarga aylanadi.

Polimetall rudalarning mineral tarkibi. Polimetall rudalar tarkibi juda murakkab bo'lib, ular odatda bir nechta asosiy va yordamchi minerallardan tashkil topadi. Ushbu minerallarni quyidagi guruhlarga ajratish mumkin:

1. Sulfid minerallar. Polimetall rudalarning asosiy qismini sulfid minerallar tashkil etadi. Ular metallarning oltingugurt bilan birikmalaridir.

Eng muhim sulfid minerallar:

Xalkopirit (CuFeS_2) — misning asosiy manbai, **Sfalerit (ZnS)** — ruxning asosiy minerali, **Galenit (PbS)** — qo'rg'oshin manbai, **Pirit (FeS_2)** — temir sulfidi

Bu minerallar ko'pincha bir-biriga yopishgan yoki aralashgan holda uchraydi, bu esa ularni ajratishni murakkablashtiradi.

2. Oksid minerallar. Ba'zi polimetall rudalarda oksid shaklidagi minerallar ham uchraydi: Kuprit (Cu_2O), Tenorit (CuO), Smitsonit (ZnCO_3)

Ular ko'pincha sulfid minerallarning oksidlanishi natijasida hosil bo'ladi.

3. Silikat va karbonat minerallar. Rudaning asosiy qismi ko'pincha foydasiz jinslar (gang minerallar)dan iborat bo'ladi: Kvarts (SiO_2), Kalsit (CaCO_3), Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)

Bu minerallar metall ajratish jarayonida chiqindi sifatida ajratiladi.

Polimetall rudalarning kimyoviy tarkibi. Polimetall rudalarning kimyoviy tarkibi ularning kelib chiqishi va mineral tarkibiga bog'liq ravishda o'zgaradi. Odatda quyidagi elementlar mavjud bo'ladi: Asosiy komponentlar: Cu, Zn, Pb, Qo'shimcha komponentlar: Fe, S, Noyob va qimmatbaho elementlar: Au, Ag, Aralashmalar: Si, Ca, Mg, Al. Rudaning sanoat qiymati undagi foydali komponentlarning miqdori va ularni ajratib olish imkoniyatiga bog'liq.

Polimetall rudalarning strukturaviy xususiyatlari. Polimetall rudalarning strukturasi ularni qayta ishlash samaradorligiga bevosita ta'sir qiladi. Asosiy strukturaviy xususiyatlar quyidagilar:

1. Donadorlik (granulometriya). Minerallar zarracha o'lchamiga qarab farqlanadi. Mayda donador rudalarni boyitish murakkabroq bo'ladi.

2. Mineral bog'lanish darajasi. Agar foydali minerallar bir-biriga qattiq bog'langan bo'lsa, ularni ajratish uchun chuqur maydalash talab etiladi.

3. Tekstura va struktura. Rudaning ichki tuzilishi (qatlamli, massiv, tomirli) ajratish texnologiyasini tanlashda muhim ahamiyatga ega.

Polimetall rudalarning sanoat ahamiyati

Polimetall rudalar global metallurgiya sanoatida muhim o'rin tutadi. Ularning ahamiyati quyidagilardan iborat:

- Bir vaqtning o'zida bir nechta metall olish imkoniyati
- Resurslardan kompleks foydalanish
- Yuqori iqtisodiy samaradorlik
- Qimmatbaho elementlarni qo'shimcha olish imkoniyati

Shu bilan birga, bunday rudalarni qayta ishlash murakkab texnologiyalarni talab qiladi.

Polimetall rudalarni qayta ishlashdagi muammolar

Polimetall rudalarni qayta ishlash jarayonida quyidagi muammolar yuzaga keladi:

1. Selektiv ajratish qiyinligi Minerallar o'xshash xossalarga ega bo'lgani sababli ularni ajratish murakkab.
2. Murakkab mineral tarkib Ko'p komponentli tarkib texnologik jarayonlarni qiyinlashtiradi.
3. Energiya sarfi yuqoriligi Maydalash va boyitish jarayonlari katta energiya talab qiladi.
4. Ekologik muammolar Sulfid minerallarni qayta ishlashda zararli gazlar hosil bo'ladi.

Zamonaviy yondashuvlar

Hozirgi vaqtda polimetall rudalarni qayta ishlashda quyidagi innovatsion yondashuvlar qo'llanilmoqda:

Yuqori selektiv reagentlar

Bioleaching (bakteriyalar yordamida eritish)

Kombinatsiyalashgan texnologiyalar

Sun'iy intellekt asosida optimallashtirish

Bu usullar jarayon samaradorligini oshirish va ekologik ta'sirni kamaytirishga xizmat qiladi. Polimetall rudalar murakkab tarkibga ega bo'lgan va sanoat uchun muhim xomashyo hisoblanadi. Ularning tarkibida bir nechta foydali metallar mavjud bo'lib, bu ularni iqtisodiy jihatdan muhim qiladi. Biroq, ularning murakkab mineral va kimyoviy tarkibi qayta ishlash jarayonlarini qiyinlashtiradi. Shu sababli, zamonaviy texnologiyalar asosida ularni samarali qayta ishlash dolzarb ilmiy va amaliy masala hisoblanadi. Metallurgiya sanoatida deyarli barcha foydali qazilma xomashyolarini boyitgach, ularni eritish va qayta eritish keng ishlatiladi. Biror bir metall olish uchun, u qaysi toifada rangli, qora yoki nodir bo'lishidan qat'i nazar, asosiy xomashyo bu ma'danli rudadir. Bularidan tashqari, qazilma boylik sifatida o'tga chidamli, olovbardosh hamda (flusli) kvarsli ashyolarni ham e'tiborga olish mumkin.

Respublikamizda va MDH, Yevro osiyo hamjamiyati mamlakatlarida ko'proq ochiq usul bilan tarkibidagi mis 0,35–0,5% dan kam bo'lmagan rudalar sanoatda ishlatilmoqda. Har qanday ruda, asosan, tog' jinslari hamda ma'danlardan tashkil topgan. Minerallar o'z o'rnida rudali, ya'ni tarkibida ajratib olishga moyilligi bor rangli metallar hamda nokerak tog' jinslaridan iborat bo'ladi. Nokerak tog' jinslari, asosan, tarkibida kam miqdorda rangli hamda nokerak metallardan iborat bo'lib, ko'proq silikatli, karbonatli, kvarsli va aluminosilikatli ma'danlardan tashkil topgan bo'lib, ba'zan ushbu ma'danlar tarkibida temir oksidi ham bo'ladi.

Rudalarning tarkibi, asosan, kimyoviy va fizikaviy usullarga asoslangan tahlillar bilan aniqlanadi. Ko'p hollarda, yuqorida qayd etilgan tahlillar kutilgan natijani bermasligi mumkin, ya'ni rudaning kimyoviy tarkibini bilsak-da, metalning

qanday minerallar, birikmalar tarkibida mujassamligini yoki ajratib olish kerak bo'lgan metalning fazali tarkibini bilish alohida ahamiyat kasb etadi. Xomashyo yoki ruda tarkibidagi minerallar hamda birikmalarni va fazaviy tarkibini aniq bilishimiz esa metallurgiya jarayonini to'g'ri tanlashimizga va qaysi usul bilan uni qayta ishlab, eritib, iqtisodiy samara bera oladigan texnologiyani qo'llashimizga imkon yaratadi. Shuningdek, metallurgik hisob uning ratsional tarkibini hisoblash, ashyolar tengligini keltirib chiqarishda, rudaning fazali hamda mineralli tarkibini bilgan holdagina amalga oshiriladi.

Mineral tarkibining xilma-xilligiga qarab, rangli metalli rudalar to'rt xil turga bo'linadi:

1. Sulfidli rudalar, ya'ni metall, asosan, oltingugurt bilan birikkan holda bo'ladi.
2. Oksidlangan rudalar, ya'ni unda tarkibidagi metallar kislorod bilan birikkan holda, oksidli, gidrooksidli, karbonatli holda bo'ladi.
3. Aralash holdagi rudalar. Bunda metall ham oksid, ham sulfid holda uchrashi mumkin.
4. Tug'ma metall, ya'ni sof holdagi metalli rudalar. Bunda metall, asosan, erkin holatda joylashgan bo'ladi.

Yer qobig'idagi birikmalarda metallar juda kam joylashganligiga qaramay, hozirgi kunda ularni qazib olib, boyitib, qayta ishlab, sanoatda iqtisodiy samara bera oladigan usullar bilan sof metall holda kerakli miqdorda olinmoqda. Biz ko'rib chiqayotgan mis metali ham yer qobig'ida 0,01% nigina tashkil etadi, xolos. Joylashish xususiyati bo'yicha yuqorida ta'kidlab o'tilgan to'rtta turi ham tabiatda uchrab turadi. Shuningdek, mis metalining ikki yuz ellikdan ortiq minerallari bo'lib, ulardan ba'zi birlari juda kam uchraydi. Asosan, sanoatda misning oltingugurt va kislorod bilan birikkan minerallari ko'p uchraganligi tufayli mis ishlab chiqarishda har ikkala xili ham keng ishlatiladi. Sulfidli va kislorodli minerallarning tabiatda keng ko'lamda uchrab turadiganlarining nomlari hamda misning ular tarkibidagi foiz ko'rsatkichi 1-jadvalda keltirilgan. MDH, Yevroosiyo hamjamiyati mamlakatlari hamda O'zbekistonda ko'proq sulfidli rudalar sanoatda ishlatilsa, chet ellarda

oksidli hamda aralash rudalar ham qazib olinmoqda. Respublikamizda, asosan, sulfidli rudalar qazib olinayotganligi uchun aynan shu rudalar haqida batafsilroq ma'lumot beriladi. Sulfidli rudalar o'z o'rnida, yalpi (sploshniye) va tarqoq (vkraplenniye) turlarga bo'linadi. Yalpi rudalar o'z nomi bilan ma'lumki, asosan, sulfidli birikmalardan iborat bo'lib, nokerak tog' jinslari va boshqa bo'sh tog' jinslari bor-yo'g'i 14–20% nigina tashkil qiladi, xolos. Tarqoq rudalarda buning aksi, ya'ni asosiy massa nokerak tog' jinslari bo'lib, sulfidli birikmalar ozgina miqdor (10%)ni tashkil etadi. Rangli metallarni yoki ajratib olish kerak bo'lgan metallarning rudadagi miqdoriga qarab, ular polimetalli (ko'p metalli) hamda monometalli (bir metalli) rudalarga ajratiladi.

Polimetalli ruda qazilma konlarida juda ko'p joylashgan bo'lib, ko'p hollarda o'ntagacha, ayrim hollarda o'ntadan ortiq bo'lgan metallarni o'zida biriktirib, shulardan ko'pchiligini texnologik jarayon bo'yicha ajratib olish nazarda tutiladi, olinayotgan metallardan keladigan iqtisodiy samara ortib boradi. Biz ko'rib chiqayotgan mis rudasi ko'pincha mana shu guruhga mansub bo'lib, uning tarkibida mis bilan nikel, kobalt, oltin, kumush yoki ruxli, unga qo'rg'oshin, kadmiy, goh mis molibdenli, ba'zi hollarda volfram, oltin, reniy kabi elementlar bilan birgalikda uchrab turadi.

Minerallarning nomi va kimyoviy belgisi

1-jadval

T/r	Mineral nomi	Kimyoviy belgisi	Cu %
1	Kovellin	CuS	64,5
2	Xalkozin	Cu ₂ S	79,9
3	Xalkopirit	CuFeS ₂	34,6
4	Bornit	Cu ₅ FeS ₄	63,3
5	Kubanit	CuFeS ₃	23,5
6	Talnaxit	CuFeS _(1,8-2)	36-34,6
7	Malaxit	CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	57,4
8	Azurit	2Cu·CO ₃ ·Cu(OH) ₂	55,3

9	Kuprit	Cu_2O	88,8
10	Tenorit	CuO	79,9
11	Xalkantit	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	25,4
12	Xrizokolla	$\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	36,2
13	Diopfaz	$\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	< 45

Bugungi kunda qazish ishlari olib borilayotgan va o'rganilayotgan mis konlar haqidagi ma'lumotlarga e'tibor berilsa, tarkib jihatidan ular ancha kerakli metallar bo'yicha kambag'aldir. Misning tarkibi bu konlarda ko'p hollarda 1–2 % ni tashkil etsa, katta konlarda bu ko'rsatkich 0,35–0,75 % dangina iborat. Lekin shunday mis konlari mavjudki, ular tabiatda o'ziga xos mo'jiza kasb etgan, desak mubolag'a bo'lmaydi. Tarkibida misi bor tabiiy birikmalarning bir joyga mujassam bo'lishi o'z o'rnida mis konlarini hosil qilsa-da, ular joylashuvi va kimyoviy tarkibi jihatidan yuqorida sanab o'tilgan barcha ruda turlariga to'g'ri keladi.

Qadimgi ruda konlari nafaqat Ural tizmalarida, balki Qozog'iston, Buyuk Turkiston hamda Kavkazorti tog'larida ham keng miqyosda ishlatilganligi arxeologiya qazilmalaridan bizga ma'lum. Barcha MDH respublikalarini qadimdan eng katta mis konlariga boy tizma tog' deb atasak arziydi. Agar xaritaga nazar tashlansa, yashil-ko'k rangli tog' tizmalarida Turon qazilma boyliklarini, Gay, Sibay, Qorabosh konlari va boshqa hududlar haligacha mis olish bo'yicha yetakchi konlardan ekanligiga ishonchimiz komil bo'ladi. Umuman, Ural tog'lari mis-ruxli sulfid rudalari toifasiga mansub bo'lib, bu rudalarga yo'ldosh metallar: rux, nikel, qo'rg'oshin, oltin, kumush, goh kam bo'lsa-da, vismut, indiy, kobalt, talliy, tellur kabi elementlar uchrab turadi [25]. Bu azim Ural tizmalari qo'ynidan olingan mis metali va unga yo'ldosh bo'lgan elementlar Qizil Ural, O'rta Ural, Qorabosh hamda Mednogorsk tog'-kon kombinatlarini to'la ta'minlab kelmoqda.

Qozog'iston Respublikasini oladigan bo'lsak, juda ko'p ro'znoma va oynomalarda yangi mis konlarini ochish, geologiya-ekspeditsiya ishlarini keng ko'lamda olib borish bo'yicha yaqin yillar ichida u MDH mamlakatlari orasida oldingi o'rinlarni egallashi mumkinligi haqida ma'lumotlar berilmoqda. Ancha

yillardan beri ishlab kelayotgan Jezqozg'on mis kombinati to'liq ta'minlanib turgan bir paytda, Balxash, Boshikel va yana mingga yaqin piritga boy mis-ruxli hamda kichik oksidli ruda konlari topilganligi yosh mustaqil Qozog'iston uchun quvonarli holdir. Shuningdek, Kolsk, Taymir yarim orollari, Kavkaz va Baykalortidagi Udokon konlari bir me'yorda ishlab turmasa-da, misli rudalarga ancha boydir.

O'rta Osiyoning Chotqol, Qurama tog' tizmalari Ohangaron tumanining o'ng va so'l tomonlarida joylashgan bo'lib, oltin, kumush, mis, rux, molibden, uran va boshqa metallarga boy, bizning davrimizda ham Qurama tog' tizmasi foydali qazilma boyliklar olishning asosiy manbai hisoblanadi. Minglab tonnadan ortiq rangli metallarga boy toshqol qoldiqlari shundan dalolat beradiki, qadimdan bobokalonlarimiz mis, qo'rg'oshin, oltin, kumush metallarini toza holda olishga, ularga ishlov berish va har xil zeb-u ziynat buyumlari tayyorlashga mohir bo'lganlar. Ishlab chiqarish xajmi bo'yicha rux, alyuminiy va misdan keyin uchinchi o'rinda turadi. Bir yilda dunyoda 5-7 mln.t rux ishlab chiqariladi. Zavodlarning ishlab chiqarish imkoniyati 75-85 % larga foydalaniladi. Olmaliq tog'-metallurgiya kombinati tarkibiga kiradi. Zavodning ishlab chiqarish imkoniyati bir yilda 100 ming tonnadan ziyodroqdir.

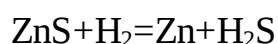
Xorijiy davlatlarda rux ishlab chiqarish quyidagilarda mavjuddir: AQSH, Yaponiya, Rossiya, Kanada, Avstraliya, Olmoniya, Fransiya, Bolgariya, Polsha, Benilyuks, Qozog'iston va boshqalardir. Dunyo miqyosida ishlab chiqilgan ruxning o'zlashtirilishi quyidagichadir,%: oq tunika olish-36; latun va bronza olish-26; quymakorlik-26; rux prokati-3; kimyo mollari-6,5. Zavodlarning ishlab chiqarish imkoniyati 75-85 % larga foydalaniladi. Olmaliq tog'-metallurgiya kombinati tarkibiga kiradi. Zavodning ishlab chiqarish imkoniyati bir yilda 100 ming tonnadan ziyodroqdir.

Ruxni asosiy o'zlashtiruvchi davlatlar AQSH, Yaponiya, Olmoniya, Rossiya. O'zbekiston o'zini mahsulotini xorijiy davlatlarga eksport qiladi. 1 tonna ruxning narxi dunyo bozorida 950-1050 AQSH dollarida sotiladi. Metall asosan mineral zahiralardan olinadi. Ikkilamchi xom ashyodan foydalanish endi keng yo'lga qo'yilayapti.

Rux xom ashyosining tavsifi - tabiatda rux asosan sulfid holatida uchraydi. Bir xil rux birikmalari bu kislorod bilan bogʻlangan oksid zahiralardir. Sanoatda keng tarqalgan va ishlab chiqarishda tushgan bu kompleks rux qoʻrgʻoshin sulfidli polimetalmis rudalardir. Bu rudalarda asosiy metallardan tashqari, yana mis, kadmiy, nodir va kamyob metallar bor. Zamonaviy rudalarda ruxning miqdori 1,5 %, rux-qoʻrgʻoshin rudalarda esa 1,0 -1,5% Zn va 0,4 -0,5% Pb bor. Bu rudalarni qayta ishlashdan oldin boyitiladi. Asosiy boyitish usuli selektiv flotatsiyadir. Oldin rudadan kollektiv rux-qoʻrgʻoshin boyitmasi olinib, keyin u alohida rux va qoʻrgʻoshin boyitmalariga ajratiladi. Sulfidli rudalarda rux asosan sfalerit ZnS shaklda uchraydi. Oksidlangan rudalarda rux karbonat $ZnCO_3$ (smitsonit) va gidrotsinkiy $ZnSO_3 \cdot 2 ZnS (ON)$ va silikat (valletit Zn_2SiO_4) turlarda uchraydi.

Ruxni boyitmaga oʻtish darajasi 70-85%ni tashkil qiladi. Rux boyitmasini taxminiy miqdori, %: Zn 40-60; Pb 0,2-3,5; Ca 0,15 -2,3; Fe 2,5-13; S 30-35; Ca 0,1-0,5; As 0,03-0,3; Sb 0,01-0,07; Cu 0,001-0,013; In 0,001-0,07. Boyitmani maydaligi 30-35% (-75 mkm)-70-90% (-75mkm) masofada oʻzgaradi. Boyitmani muhim texnologik xususiyatlari boʻlgan zichlik: $-3,4-4,3 \text{ g}^3/\text{sm}^3$; toʻkilmoq massasi $1,9-2,3 \text{ g/sm}$, namlik 10-16%, quritilgandan keyin 6-8 %.

Ruxni xom ashyodan ajratib olish asosiy texnologiyalar sulfidli rux xom ashyosini bevosita erkin holatigacha tiklash mumkin. Masalan:

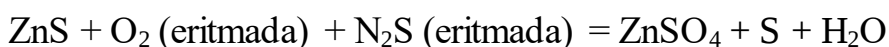


Ammo, kuchli tiklovchi moddalar H va SO samarador emasdir. Masalan, keltirilgan reaksiya uchun 1000 °C da muvozanat konstantasi teng:

$$K_p = P_{Zn} P_{H_2S} / P_{H_2} = 2,1 \cdot 10^{-4}$$

Bundan xulosa, yuqori harorat va bosimlarda ham tiklanish mahsulotlarini chiqishi judayam kam. Amaliyotda sulfidlarni oksidlantirish keyin afzalroqdir. Sanoatda ZSni ZnOga oksidlanishini pirometallurgik usul bilan amalga oshiriladi. ZnOni tiklanishi esa pirometallurgik yoki gidrometallurgik usullar bilan amalga oshishi mumkin. Oxirgi usul boʻyicha ZnOni sulfat kislotasida eritib elektroliz yordamida erkin metall olinadi. Ruxni sulfid boyitmasidan ajratib olish ZnS , ZnO va Zn larni xususiyatlariga bogʻliqdir. Ruxni oksid va sulfidi yuqori haroratda eriydi.

Masalan, ZnS atmosfera bosimida 1200 °C dan ziyod haroratda porlanadi va 2000 °C gacha eriydi. ZnO esa 1975°C da suyuq holatiga o'tadi. SHuning uchun Zn Sni ZnOga oksidlanishini yuqori haroratlarda katta tezlik bilan yuborilishi mumkin. Rux sulfidini oksidlanishi ekzotermikdir va jarayon uchun qo'shimcha yoqilg'i sarflamaydi. Ruxni oksiddan tiklash uchun ko'p energiya sarflanadi. SHuning uchun pirometallurgik tiklanish yuqori harorat va tiklovchi moddaning miqdorligida olib boriladi. Elektrolitik tiklanish ham elektr quvvatini katta xajmda sarflanishi bilan bog'liqdir. Metall rux oson suyuq holatga o'tadigan harorati 419°C, 907°C da bug' holatiga o'tadi, shuning uchun pirometallurgik tiklanishda bug' holatida ajralib chiqadi. Piro va gidrometallurgik usullarni xususiyatlarini ko'rib chiqamiz. Pirometallurgik usulda yakunlovchi mahsulot bo'lib g'ovak kuydirma (kuyindi) olinadi. Kuydirish davrida modda oltingugurtli yo'qotib, keyin qotishma shaklga o'tadi. Qotishma olish uchun harorat 1300-1400°C gacha ko'tarilishi kerak. Buni aglomeratsiya jarayonida amalga oshiriladi. Aglomerat keyinchalik qattiq uglerod yordamida tiklanadi. Gidrometallurgik usul bo'yicha kuydirishni 900-1000 °C da kuyindi-kukun olishga qaratiladi. Olingan kukun sulfat kislotasida eritiladi. Eritmadan rux elektroliz bilan erkin holatida ajratib olinadi, sulfat kislotasi esa regeneratsiya bo'lib qaytadan tanlab eritishga yuboriladi. Rux boyitmasini yuqori haroratda oksidlantirish, hozirgi payitda, asosiy texnologik usuldir. Kanadada olib borilgan izlanishlar shuni ko'rsatadiki rux sulfidini eritmadagi kislorod bilan ham oksidlantirsa bo'lar ekan:



Jarayon avtoklavda 100°C dan ziyod va umumiy bosim 10^5 Pa dan yuqori sharoitlarda olib boriladi. Sanoatda bunday texnologiyani qo'llash qiyindir. Texnologik sxemalarni tahlili shuni ko'rsatib turibdiki, jarayon bir necha bosqichdan iboratdir. Amaliyotda esa, sxemalar ancha murakkabroqdir.

Bunga ikkita sabab bor:

- 1) xom ashyoda mavjud bo'lgan bir qator ruxga yo'ldosh elementlarni ajratib olish kerakligi;
- 2) xom ashyoni qayta ishlash uchun tayyorlash jarayonlarini tashkil etish.

Dunyo miqyosida taxminan 20% pirometallurgik va 80% rux gidrometallurgik usullar bilan olinadi.

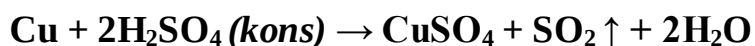
1.2. Mis va ruxning fizik-kimyoviy xossalari

Metallurgiya va boyitish jarayonlarida polimetall rudalardan qimmatli komponentlarni selektiv ajratib olish texnologiyasini ishlab chiqishda mis va rux elementlarining fundamental fizik-kimyoviy xossalarini chuqur o'rganish muhim ahamiyat kasb etadi. Ushbu metallarning atom tuzilishi, kristall panjarasi, zichligi, suyuqlanish harorati hamda kimyoviy reagentlar bilan o'zaro ta'sirlashish qobiliyati ularni qayta ishlashning optimal sharoitlarini belgilab beradi.

Misning (Cu) fizik-kimyoviy tavsifi. Mis (Cuprum) Mendeleyev davriy sistemasining IV davri, I qo'shimcha guruhida joylashgan bo'lib, atom raqami 29, atom massasi 63,546 ga teng. Atomning elektron konfiguratsiyasi $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$ ko'rinishiga ega. Tashqi s-qobiqdan bitta elektronning d-qobiqqa o'tishi (elektron ko'chishi) tufayli mis barqaror d^{10} konfiguratsiyasini hosil qiladi, biroq kimyoviy birikmalarda u +1 va +2 (ba'zan +3) oksidlanish darajalarini namoyon qila oladi.

Fizik xossalari: Mis o'ziga xos qizg'ish-pushti rangli, yuqori plastiklikka, cho'ziluvchanlikka hamda ajoyib elektr va issiqlik o'tkazuvchanlikka ega metall hisoblanadi. Uning zichligi kirish sharoitida $8,96 \text{ g/sm}^3$, suyuqlanish harorati $1083,4^\circ\text{C}$, qaynash harorati esa 2567°C ni tashkil etadi. Kristall tuzilishi qirralari markazlashgan kubik (QMK) panjaradan iborat.

Kimyoviy xossalari: Kimyoviy faolligi jihatidan mis past faol metallar (vodoroddan keyin joylashgan) sirasiga kiradi. Quruq havoda barqaror bo'lsa-da, namlik va CO_2 ta'sirida sirti yashil rangli asosli karbonat malaxit $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ plyonkasi bilan qoplanadi. Mis suyultirilgan xlorid va sulfat kislotalarda (kislorod ishtirokisiz) erimaydi, biroq oksidlovchi kislotalarda (sulfat kislotaning konsentrlangani va nitrat kislotada) oson eriydi:



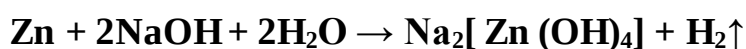
Polimetall rudalarda mis asosan sulfidlar (xalkopirit, xalkozin, kovellin) holida uchraydi va bu birikmalar flotatsiya jarayonida turli sulfidril kollektorlar (masalan, ksantogenatlar) yordamida hydrophoblanish xususiyatiga ega.

Ruxning (Zn) fizik-kimyoviy tavsifi

Rux (Zincum) davriy sistemaning IV davri, II qo'shimcha guruhida joylashgan element bo'lib, atom raqami 30, atom massasi 65,38 ga teng. Elektron konfiguratsiyasi $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2$ ko'rinishidadir. Tashqi elektron qobig'idagi ikkita s-elektronni oson yo'qotishi sababli, rux birikmalarida faqat +2 barqaror oksidlanish darajasini namoyon etadi.

Fizik xossalari: Rux mavg'ish-oq rangli, kristallangan holatda mo'rt metall bo'lib, 100-150 °C haroratda plastik bo'lib qoladi va undan yupqa listlar simlar tayyorlash mumkin. Zichligi 7,13 g/sm³ bo'lib, misga nisbatan yengilroqdir. Suyuqlanish harorati ancha past 419,5 °C, qaynash harorati esa 907 °C ni tashkil qiladi (bu xossasi pirometallurgik jarayonlarda ruxni haydash orqali ajratib olish imkonini beradi). Kristall panjarasi geksagonal zich joylashgan tuzilishga ega.

Kimyoviy xossalari: Rux amfoter xossaga ega bo'lgan faol metallar guruhiga kiradi. Havoda uning sirti yupqa oksid (ZnO) plyonkasi bilan qoplanib, metallni ichkariga qarab yemirilishdan himoya qiladi. U oddiy kislotalarda oson erib, vodorodni siqib chiqaradi, shuningdek, ishqorlar bilan reaksiyaga kirishib sinkatlar yoki gidroksokomplekslar hosil qiladi:



Rudalarda rux asosan sfalerit (ZnS) minerali holida uchraydi. Sfalerit flotatsiya jarayonida o'z-o'zidan yomon flotatsiyalanadi, shu sababli uni faollashtirish uchun mis kuporosi (CuSO₄) reagentidan foydalaniladi, bu jarayonda mineral sirtida mis ionlarining almashinishi hisobiga ruxning flotatsiya faolligi ortadi.

Mis va ruxning polimetall tizimlardagi o'zaro aloqadorligi

Gidrometallurgik jarayonlarda mis va rux sulfat kislotali eritmalarga o'tkazilganda (CuSO₄ va ZnSO₄), ularning eritmada birgalikda mavjudligi elektroliz jarayonini murakkablashtiradi chunki misning standart elektrod potentsiali ($E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^0 = +0,34 \text{ V}$) ruxnikiga ($E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}^0 = -0,76 \text{ V}$) nisbatan ancha yuqori bo'lganligi sababli, katodda avval mis ionlari qaytariladi. Shu sababli, eritmalar

ruxni olishdan oldin misni to‘liq sementatsiya yoki ekstraksiya usullari bilan ajratib olish talab etiladi.

Mis rangli og‘ir metallar ichida xalq xo‘jaligidagi asosiy keng ishlatiladigan metallar sirasiga kiradi. Mis davriy sistemada 29-tartib raqami bilan birinchi guruhda joylashgan. 2 izotopi bor bo‘lib, uning atom massasi 63 va 64 dir. Shuning uchun ham yig‘indi hamda atom og‘irligi 63,54 deb qabul qilingan.

Mis quyidagi asosiy xususiyatlarga ega

2-jadval

- ionizatsiya potentsiali	+ 7,72 eV
- ion radiusi	- $0,8 \cdot 10^{-10}$ m
- metall radiusi	1,28Å
- erish va qaynash harorati	1083 va 2310 ⁰ C
- valentligi	+1,+2
- issiqlik sig‘imi, < 300 ⁰ C	0,104 kal/g. ⁰ C
> 700 ⁰ C	0,118 kal/g. ⁰ C
- qotish paytida hajmning qisqarishi	4,2 %
- solishtirma og‘irligi, quyma holida	8,3–8,9 g/sm ³
- sim yoki siqilgan holda	8,87–8,94 g/sm ³
- issiqlik o‘tkazuvchanligi	0,98 kal (sm.sek. ⁰ C)
- elektr o‘tkazuvchanligi	56,65 m/om.mm ²
- qattiqligi (Brunel bo‘yicha)	50
- me‘yoriy potentsiali	+0,34 V
- elektr kimyoviy ekvivalenti	1,186 g/(A.s)
- bug‘ bosimi (1080 ⁰ C da)	0,113 Pa
- rangi	qizil

**Dunyo miqyosida xalq xo‘jaligining turli tarmoqlarida misning ishlatilishi
foiz hisobida taxminan quyidagicha (%)**

3-jadval

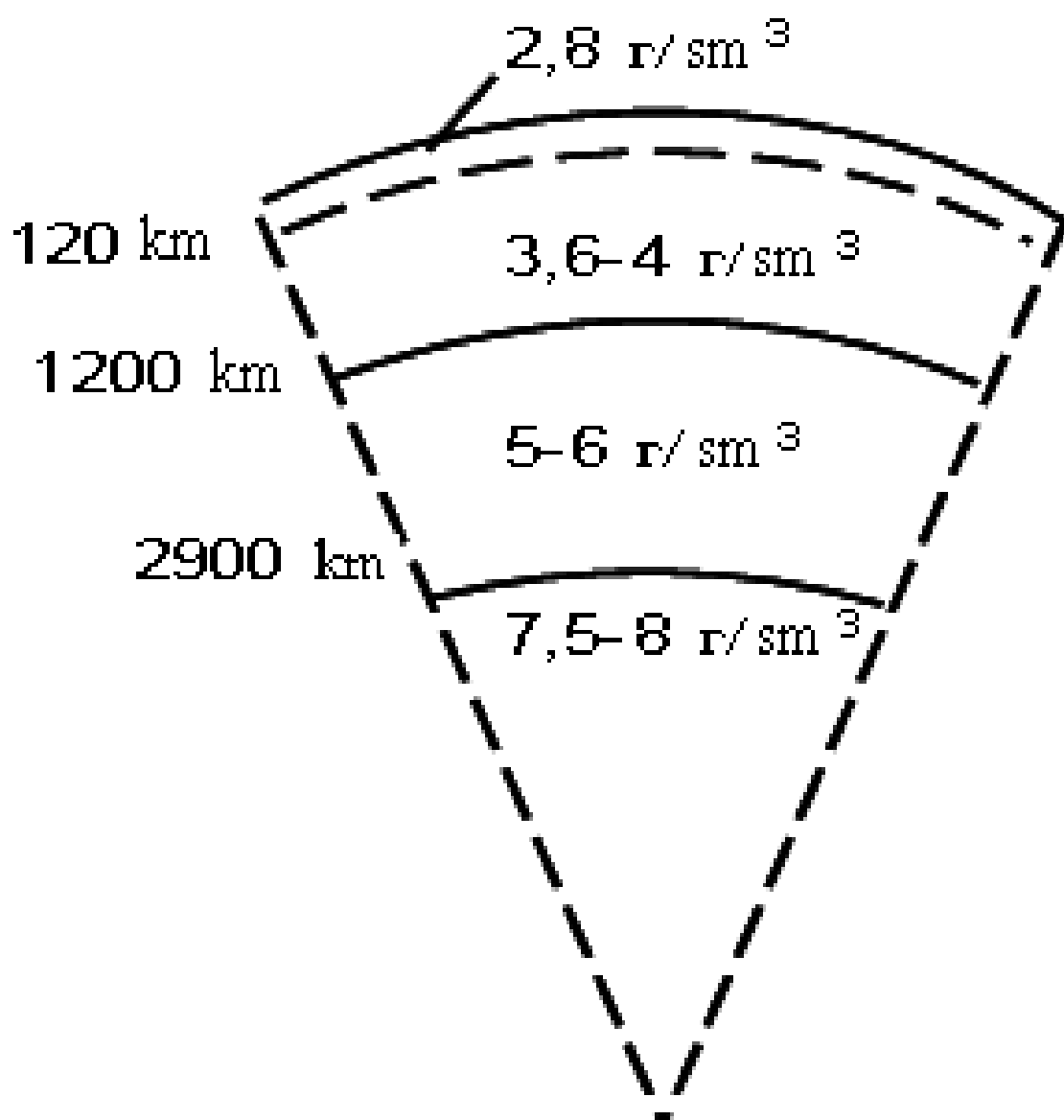
T/r	Ishlatilish sohalari	Foizda
1	elektrotexnika va elektronika mahsuloti sifatida	45–55 %
2	mashinasozlik va transportda	15–30 %
3	qurilish sanoatida	5–10 %
4	kimyo sanoatida	2–10 %
5	boshqa turli tarmoqlarda	10 % gacha

Sanoat tarmoqlari orasidagi ushbu bo‘linish shartli bo‘lib, misning qaysi tarmoqda qancha ishlatilishi aniq hisoblanmagan, chunki ular orasida deyarli chegara yo‘q bo‘lib, bir sanoat tarkibida ishlatilgan misli ehtiyoj uskunasi ikkinchi sanoat tarmog‘ida asosiy qurilma sifatida yoki oddiy elektr o‘tkazuvchi sim o‘rnida ishlatiladi. Misli uskunaning keng ishlatilishiga asosiy sabab, albatta, uning oson eruvchanligi va ishlov berishga moyilligi bo‘lsa, ikkinchi tomondan u elektr tokini yaxshi o‘tkazadi. Elektr o‘tkazuvchanligi bo‘yicha mis kumushdan keyin ikkinchi o‘rinda turadi.

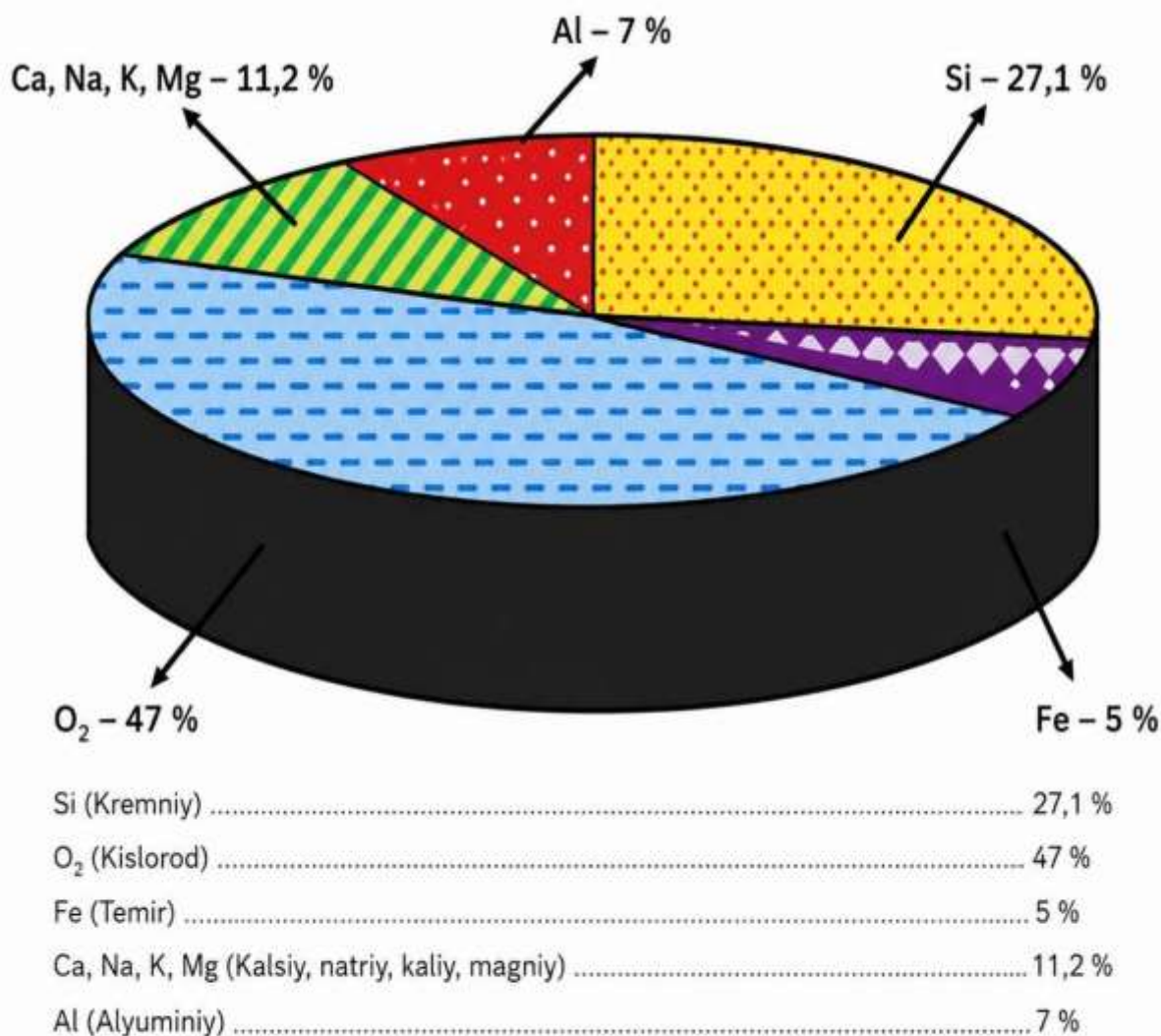
Mis mahsulotlaridan keng ishlatiladigani mexanik qayta ishlov berilgan prokat (asosan sim holida) va latundir.

Yer sharini, uning qobig‘ini, unda joylashgan kimyoviy elementlarni qadimdan olimlarimiz ko‘p marta o‘rgangan. Yer yuzining ostki, ustki qismida, havoda, hatto suv osti va koinotda joylashgan barcha zarracha-yu jism, tog‘ jinslari, jonzot tanalari-yu o‘simliklar dunyosi, barcha-barchasi kimyoviy elementlardan iborat ekanligi, ularning goh qattiq, suyuq, gohida gazsimon holatda, bir-biridan shartli ravishda ajralib turishi odamzotga azaldan ma’lum. Yer ostiga uning yadrosi tomon chuqur qazilib, namunalar olinmagan va juda ko‘p elementlar aniqlanmagan, biroq o‘tkazilgan uzoq yillik tajribalar shuni ko‘rsatadiki, yer sharining asosiy massasi og‘ir metallar hamda kremniy, aluminiy, magniy, temir va boshqa elementlardan iborat.

Shu kunga qadar bo‘lgan fikr va kitoblardan xulosa qiladigan bo‘lsak, yer sharining bir-biriga o‘xshamas modda va elementlari aralashmasi quyidagi qismlardan iborat: metalli, sulfidli, oksidli. Sibirlik ulug‘ olim akademik V.A.Obruchev ma’lumotiga ko‘ra, yer har xil tarkibli kimyoviy elementlardan va ularning solishtirma og‘irligi taxminan quyidagilardan tarkib topgan (1-rasm) [26]. Shuningdek, 2-rasmda yer qobig‘idagi kimyoviy elementlarning tarkibi foiz hisobida ko‘rsatilgan.



1-rasm. Yer sektorining turli tarkibdagi qatlami va solishtirma og‘irligi.



2-rasm. Yer qobig'ida kimyoviy elementlarning tarkibi, %:
O₂ – 47%; Si – 27,1%; Fe – 5%; Ca, Na, K, Mg – 11,2%; Al – 7%.

Ushbu rasmdan ma'lumki, yer sharining ustki qismi, ya'ni yer qobig'i, asosan, kisloroddan va yengil, rangli metallardan iborat. Bunga asosiy sabab necha million yillar mobaynida atmosferadagi qor, yomg'ir, umuman, suvning yer qobig'i bilan o'zaro ta'sirda bo'lishidir. Yerosti suvining neft, gaz va boshqa kimyoviy moddalar harakati ular molekulalarining doimiy yer shari (qattiq massa) qatlami bilan alohida bo'lishi ham yer yadrosi tomonga, hatto 100 km dan ortiq masofada silikat qatlami (asosan SiO₂)ni tashkil etsada, metallar tarkibi ortib boradi.

Mis yer qobig'ida nihoyatda kam joylashgan, yaxlit 0,01 % ga teng. Biroq mis ayrim, hatto kamyob, nodir metallarga nisbatan ham kam bo'lishiga qaramay

(masalan, stronsiy, sirkoniy, berilliy va boshqa siyrak kamyob metallar), xalq xo‘jaligida ko‘p ishlatiladi. Ayrim konlarda mis 3–5% gacha bo‘ladi, biroq qazib olib uni qayta ishlash, hatto mis tarkibi 0,35–0,4 % atrofida bo‘lsa ham, iqtisodiy samara beradi va u qazib olinib, so‘ng albatta boyitiladi. X–XII asrlarda dunyoda yiliga 50–70 t mis eritib olingan bo‘lsa, 1800-yilga kelib, bu ko‘rsatkich yiliga 12–15 ming tonnani tashkil etdi. Oradan 100 yil o‘tgach (1900), dunyoda mis eritib olish 500 ming tonnaga yetgan bo‘lsa, 1981-yilga kelib esa yiliga 7 mln. tonna toza mis eritib olingan. 5 ta mamlakat dunyodagi jami misning 70% dan ortig‘ini jahon bozoriga yetkazib bermoqda, bular: Chili, AQSH, Yaponiya, Rossiya va Xitoy. Bu mamlakatlar ichida Chili oxirgi 40 yil mobaynida olamshumul yutuqlarga erishib kelmoqda. 1960-yilda bor-yo‘g‘i 200 tonna. mis eritib olgan Chili 1970-yilda ikki barobar (400 tonna), 1980-yilga kelib 800 t dan ortiq, 1990-yilga kelib esa 1 mln.t. dan ortiq mis eritib oldi. XXI asr boshlarida Chili mamlakati dunyoda nafaqat mis zaxiralari bo‘yicha, balki mis eritib olish bo‘yicha birinchi o‘ringa chiqib oldi va hozirgi kunga kelib 3 mln. t. ga yaqin mis olmoqda. Asosan, chet el olimlari va investorlari hisobiga Chili metallurgiyasi rivojlanib kelmoqda. Konlarning ochiq usulda qazib olinishi, gidrometallurgiya jarayonining keng qo‘llanilishi chililik metallurglarga qo‘l kelmoqda. Xitoy davlati ham 2000–2005-yillari 3 mln.tonnaga yaqin mis olib, dunyo metallurglarini hayratga solmoqda.

Ruxni qo‘llash soxalari ruxning fizika-kimyoiy va mexanik hossalari bilan belgilanadi. Dunyoda ishlab chiqarilgan ruxning asosiy foydalaniladigan sohalari.

3-jadval

T/r	Ishlatilish sohalari	foizda
1	Po‘latni rux bilan qoplash (oq tunika ishlab chiqarish)	36 %
2	Latun va bronza ishlab chiqarish	26 %
3	Bosim ostida quyish	26 %
4	Rux prokati	3 %
5	Kimyo mahsulotlari	6,5 %

Shunindek rux ayrim dori-darmonlarni ishlab chiqarilishida qo'llaniladi. Rux, rux kukuni ko'rinishida, reagent sifatida qo'rg'oshin, nodir metallarni va ayrim rangli metallarni ishlab chiqarilishida qo'llaniladi. Rux oksidi rezina mahsulotlarni ishlab chiqarilishida va ularga ishlov berishda keng qo'llaniladi. Rux sulfididan tayyorlangan buyoqning quyosh energiyasi va infraqizil nurlarni yutish qobiliyati past bo'lganligi va nurlarni qaytarish xususiyatiga ega bo'lganligi uchun, kosmik kemalarni buyashda keng qo'llanilmoqda. Rux birikmalari energiya manbai sifatida, kosmik kemalarda keng qo'llaniladi Zn –Ag oksidli batareyalar. Bu batareyalarning quvvati, boshqa turdagi batareyalarning quvvatidan 5-6 marotaba ko'proqdir. Hozirgi vaqtda dunyo bo'yicha ruxning ishlab chiqarish xajmi 12 mln. tonnani tashkil etmoqda. Rux ishlab chiqarilishi va foydalanishi bo'yicha rangli metallar ichida alyuminiy va misdan keyin uchunchi o'rinda turadi. Dunyo bo'yicha, ruxning aniqlangan va tasdiqlangan zaxiralari 350 mln t ko'p miqdorni tashkil etadi. Rux konlari dunyoning 70 mamlakatida mavjud. Ruxning yirik zaxiralari Rossiya, Avstraliya, Kozoqiston, Kanada va Xitoyda joylashgan. Rux ishlab chiqarish miqdori bo'yicha eng yirik davlatlar kuydagilardir: Xitoy, Kanada, Avstraliya. Shu davlatlar ruxning eng yirik eksportyorlari ham. Ruxning eng yirik importyor davlatlar: AQSH, Tayvan, Germaniya. Rux ishlab chiqarishning asosiy xomashyo manbai bu sulfidli mis - qo'rg'oshin – ruxli, mis-ruxli va qo'rg'oshin – ruxli rudalardir. Sulfidli rudalarda rux asosan sfalerit yoki vurtsit, ikkalasining tarkibi ZnS formulasiga javob beradi, va marmatit $nZnS \cdot mFeS$ ko'rinishida uchraydi. Polimetallik rudalarda ruxga quyidagi minerallar yo'ldosh minerallar ko'rinishida uchraydi: galenit PbS , xalkopirit $CuFeS_2$, grinokit CdS , arsenopirit $FeAsS_2$, pirit FeS_2 va pirrotin Fe_7S_8 . Bo'sh poroda turli silikatlar va karbonatlardan tashkil topgan. Rux zaxiralarining oksidlangan zonalarida rux, quyidagi kislorod tarkibili birikmalar ko'rinishida bo'ladi: smitsonit $ZnCO_3$, sinkit ZnO va kalamini $2ZnO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$. Oksidlangan rux rudalari hozirgi kunda unchalik sanoat ahamiyatiga ega emas. Sulfidli polimetallik rudalarda ruxning miqdori odatda 1-3% tashkil etadi. Bu rudalar murakkab tarkibga ega. Shuning uchun rux rudalari metallurgik qayta

ishlashdan avval selektiv flotatsiya sxemasi bo'yicha boyitiladi. Boyitish natijasida rux, mis, qo'rg'oshin va pirit boyitmasi olinadi.

Polimetallik rudalarni selektiv flotatsion boyitish natijasida quyidagi namunali tarkibdagi boyitma olinadi, %: Zn 48 - 60; Pb 1,5 - 2,5; Cu 1 - 3; Cd 0,25 gacha; Fe 3 - 10; S 30 - 38, bo'sh jins 10 tagacha (SiO_2 , CaO , Al_2O_3 va b.)

Rux boyitmalari kompleks va qimmatbaho xomashyo. Bu xomashyodan rux, qo'rg'oshin, mis, kadmiy, oltingugurt, oltin, kumush, simob, galiy, indiy, talliy, selen, tellur va boshqa moddalar ajratib olinishi zarur. Ayrim hollarda, qiyin boyitiluvchi mis-ruxli rudalardan, tarkibida 12-18% rux va 4-8% mis bo'lgan yarim mahsulotlar (boyitmalar) olinadi. Bu boyitmalarni rux va mis zavodlarida qayta ishlash qiyinchilik tug'diradi.

O'zbekistonda rux zavodini mahalliy xomashyo bilan ta'minlash maqsadida 2010 yildan boshlab Olmaliq kon-metallurgiya tarkibida yangi "Xondiza" kon boshqarmasi ishga tushirilgan. Buning natijasida 2010 yilda mahalliy xomashyodan birinchi metallik rux ishlab chiqarilgan. "Xondiza" kon boshqarmasi boyitish fabrikasining yillik ishlab chiqarish unumdorligi, rux boyitmasi bo'yicha 60 ming tonnani, qo'rg'oshin boyitmasi bo'yicha 30 ming tonnani va mis boyitmasi bo'yicha 3 ming tonnani tashkil etadi. "Xondiza" kon boshqarmasi tomonidan ishlab chiqariladigan rux boyitmasi, rux zavodi ishlab chiqarish quvvatining faqat 25% qondiradi. SHu sababdan, xozirgi kunda rux zavodida mahalliy xomashyo bilan birga, boshqa davlatlardan keltirilgan xomashyo ham qayta ishlanadi.

1.3. Polimetall rudalardan metall ajratib olish usullari

So'nggi o'n yilliklarda, ayniqsa sanoat rivojlangan mintaqalarda yuqori sifatli ruda zaxiralarining sezilarli darajada kamayib ketishi, noan'anaviy xom ashyo manbalaridan metall ishlab chiqarishning yangi usullarini o'rganish bo'yicha tadqiqotlarni kuchaytirishga olib keldi. Bularga oksidlangan, past sifatli va o'tga chidamli rangli metall rudalari kiradi. Bunday manbalar, shuningdek, sifatsiz va nostandart rudalar qoldiqlarini, shuningdek, mis, rux, qo'rg'oshin, mishyak va boshqa metallarni ulardan o'z-o'zidan eritib yuborish jarayonlari tufayli atrof-muhitni ifloslantirishning uzoq muddatli manbalarini ifodalovchi "tugagan" konlarni ham o'z ichiga oladi [27].

Mis ko'plab sanoat tarmoqlari, xususan, elektronika, radiotexnika, qurilish, mashinasozlik va iste'mol tovarlari ishlab chiqarish uchun asosiy materialdir [28]. Uning turli xil rudalardagi miqdori 0,3 dan 5% gacha. Oksidlangan mis rudalari konlari katta qiziqish uyg'otadi. Ozarbayjon Respublikasida ushbu turdagi konlar dengiz sathidan 1500 m balandlikda, Misdag tog'i atrofida joylashgan Gedabak mintaqasida to'plangan.

Tarkibidan ko'rinib turibdiki, oksidlangan rudalar asosan temir oksidi va ishqoriy metall oksidlari izlari bo'lgan alyuminosilikat minerallariga boy. Asosiy aralashmalar kvarts va temir oksidlari hisoblanadi. Alyuminiy miqdori yuqori bo'lgani uchun xom ashyo nafaqat mis qazib olish, balki alyumin oksidi ishlab chiqarish uchun ham istiqbolli hisoblanadi. Xom ashyo tarkibidagi alyuminiy oksidining massa ulushi 22,43% ni tashkil qiladi, bu alunit rudasidagi Al_2O_3 miqdoridan (21,7%) ko'pdir [29]. Mis rudasini qayta ishlashning jahon amaliyoti shuni ko'rsatadiki, oksidlanish darajasi texnologik sxemalarni tanlashga ta'sir qiluvchi va rudani qayta ishlashning texnologik, shuningdek, texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarini belgilovchi asosiy omil hisoblanadi. Mis rudalari gidrometallurgik, pirometallurgik yoki flotatsiya texnologiyalari yordamida qayta ishlanadi. Muayyan texnologik sxemada qo'llaniladigan usul asosan mineral shakllari va rudadagi mis miqdori, shuningdek, asosiy minerallar va gangue jinslarining tarkibi va tabiati bilan belgilanadi.

Jahon amaliyotida mis tanlab eritmaga o'tkazish va elektroliz texnologiyalari yordamida ishlab chiqariladi [30]. Oksidlangan mis rudalarini flotatsiya usulida qayta ishlash jarayonida misni qayta ishlashning past sur'atlariga erishildi, bu esa ushbu rudalarning murakkab mineralogik tarkibiga sabab bo'ldi [31]. So'nggi yillarda tog'-kon sanoatida uyum bilan eritib yuborish texnologiyasi tobora ustuvor ahamiyat kasb etmoqda, chunki u misni rudalardan ham, chiqindixonalardan ham bir vaqtning o'zida ajratib olish imkonini beradi [31,32]. Uyum bilan eritib yuborish mis miqdori kam bo'lgan oksidlangan rudalardan, shuningdek, boyitish chiqindilaridan misni ajratib olish uchun qo'llaniladi [33].

Aralashtirilgan reaktorlarda amalga oshiriladigan rudalar yoki konsentratlarni aralashtirib eritib eritish (bakda eritib eritish) ham qo'llaniladi. Bu holda, unumdor eritmalar uyumli eritib eritish orqali olinganlarga qaraganda yuqori metall konsentratsiyasini o'z ichiga oladi, bu esa eritib eritish eritmalaridagi metall miqdorining yuqoriligi bilan izohlanadi [34,35].

Avtoklavda eritish yuqori sifatli rudalar yoki konsentratlarni qayta ishlash uchun qo'llaniladi [36]. Balansdan tashqari sulfid rudalaridan misni ajratib olish uchun bakterial eritmalaridan foydalanish iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqdir. Bu jarayon $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ning suvli eritmaları bilan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3\text{FeSO}_4$ va tiobasilli Th.ferrooksidans ishtirokida amalga oshiriladi [37]. Mis rudalarini eng ko'p eritib yuboruvchi vositalar azot, xlorid va sulfat kislotalardir [38]. Konsentrlangan sulfat kislota ko'pgina metall sulfidlari uchun ham oksidlovchi, ham erituvchi vazifasini bajaradi. Mis oksidi birikmalari sulfat kislotada oson eriydi, misni qayta tiklash darajasi 97–98,5% ga etadi [39]. Uni qo'llashning yon ta'siri ma'lum aralashmalarining, asosan temirning bir vaqtning o'zida eritishidir. Bu usullarning har biri o'zining afzalliklari va kamchiliklariga ega. Uyum bilan eritish odatda misning past darajada qayta tiklanishi va yuqori reagent sarfi bilan tavsiflanadi. Uning asosiy afzalliklari soddaligi va kam kapital qo'yilmalaridir. Rezervuar bilan eritishning afzalligi nisbatan past reagent sarfi bilan yuqori misning qayta tiklanishiga erishishdadir.

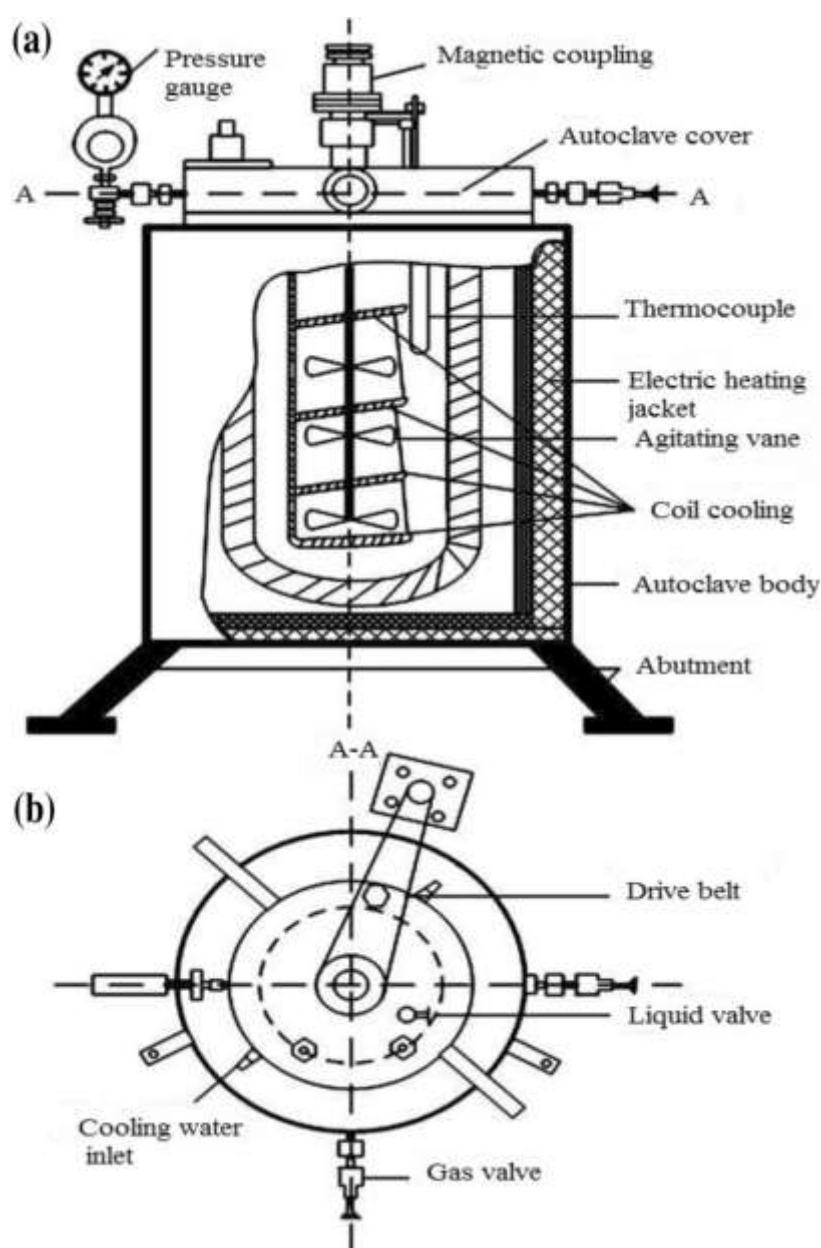
Ammiak va uning ammoniy tuzlari kuchsiz ishqoriy va kuchsiz kislotali xususiyatlarga ega; shuning uchun ular tarkibida tomir minerallari bo'lgan rudalarni eritib olish uchun ishlatilishi mumkin. Oksidlangan mis rudalarini ammiak bilan eritib olish jarayonida, ruda eriganida eritmaga o'tadigan ba'zi metall aralashmalari eritmaning yuqori pH qiymati tufayli cho'kadi. Bundan tashqari, ammiak mis ionlari bilan barqaror komplekslarni hosil qiladi, bu esa rudada mavjud bo'lgan misning erish tezligining oshishiga olib kelishi mumkin. Shunday qilib, ammiak rudadan misni tanlab ajratib olish imkonini beradi va qoldiqda kiruvchi komponentlarni qoldiradi. So'nggi paytlarda rangli metallurgiyada mayda donador materiallarni konsentrlangan sulfat kislota bilan sulfatlash usuli keng tarqalgan [40,41]. H_2SO_4 dan foydalanish oksidlangan mis rudalari va chiqindilarini qayta ishlash imkonini beradi. O'rganilayotgan oksidlangan rudalardagi alyuminiy asosan uchta mineralda mavjud: kaliy dala shpati, illit va kaolinit. Konsentrlangan sulfat kislota bu minerallarning kristall panjaralaridagi Al-O-Si bog'lanishlarini yo'q qiladi. Mineral OH guruhlarining kislotali muhitda protonatsiya va deprotonatsiya reaksiyalari Al-O-Si strukturaviy fragmentida bog'lanishlarning yorilishiga yordam beradi [42]. Ushbu fragmentdagi bog'lanishlarning yo'q bo'lish tezligi alyuminiyning ion shaklidagi sulfat kislota eritmasiga ekstraksiya tezligi bilan cheklangan [43]. Past navli mis konsentratlaridan kumushni avtoklav ammiak bilan eritib olish quyidagi tarkibdagi Jezkazgan konsentratlari yordamida o'rganildi, %: 9.55 Cu, Fe 4.84, S 5.6, 27.03 Si, 109.6 g/tonna Ag. Rentgen fazasi tahliliga ko'ra, konsentrat tarkibidagi asosiy minerallar quyidagilardir: %: 29 kvarts (SiO_2)³³ plagioklaz ((Ca, Na)(Al, Si)AlSi₂O₆)¹⁶ slyuda, 10 xalkotsit (Cu_2S) 2 xalkopirit ($CuFeS_2$) va 7 pirit (FeS_2). Oltin va kumush sulfid minerallari bilan chambarchas bog'liq bo'lgan rudalarni qayta ishlash jarayonida qimmatbaho metallar juda mayda maydalanganidan keyin ham siyanidlash orqali ajratib olinmasligi ko'rsatilgan. Bunday turg'un xom ashyoning ulushi dunyodagi qimmatbaho metallarni o'z ichiga olgan umumiy ruda zaxiralarining 30% dan ortig'ini tashkil qiladi. Oltin va kumush o'z ichiga olgan sulfidlarni miqdoriy oksidlash uchun avtoklav sulfat kislota va neytral tanlab eritmaga o'tkazishning eng keng tarqalgan texnologiyalaridan foydalanish bu holda

siyanid ioniga nisbatan inert bo'lgan argentojarositning hosil bo'lishi tufayli cheklangan. Uning hosil bo'lishining oldini olish va kumushni to'g'ridan-to'g'ri avtoklav bosqichida tanlab eritmaga o'tkazish darajasini oshirish uchun uni ammiakda ajratib olish o'rganilmoqda.

To'g'ridan-to'g'ri avtoklavda eritishda misni eritmaga ekstraksiya qilish 93–97% ni tashkil qiladi, ba'zi tajribalarda esa kumush ekstraksiya kuzatilmaydi, bu konsentratda mavjud bo'lgan alyuminiy va kremniy birikmalarining sorbsiya faolligi bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Dastlabki mexanik faollashtirish va sirtini qayta sintez qilish eritmada mis va kumushning tiklanish tezligiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi. Konsentratni kremniy dioksidini olib tashlashning qo'shimcha operatsiyasi 97% mis va 83% kumushni $[\text{NH}_4\text{OH}] = 7 \text{ mol/dm}^3$ L:S = 10:1, $\tau = 3$ soat, $p_{\text{O}_2} = 0,6 \text{ MPa}$, $t = 140^\circ\text{C}$ eritmaga ekstraksiya qilishni ta'minlaydi [44].

Mis eritish shlaklari va eritish qoldig'idagi kimyoviy elementlarning miqdorini miqdoriy aniqlash uchun Pekin-Elmer optima-5300DV induktiv bog'langan plazma atom emissiya spektrometri (ICP-AES) ishlatilgan va mis eritish shlaklari va eritish qoldig'ining fazaviy tarkibini tavsiflash uchun X 'pert Pro MPD rentgen difraksiyasi (XRD) ishlatilgan, bunda 10° dan 90° gacha skanerlash diapazonida Cu $K\alpha$ ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$) nurlanishi qo'llanilgan va difraktometrning goniometr tezligi 2/min ni tashkil etgan[45,46]. Tajribadagi asosiy asboblari quyidagilar edi: GSH-2L yuqori bosimli reaktor (Shandong Weihai Chemical Machinery Co., Ltd.; Material: Sirkoniy; Amaldagi harorat: 250°C dan kam; Amaldagi bosim: 12,5Mpa dan kam; Aralashtirish tezligi: 0–1000 rpm), 2XZ-4 aylanma vakuum nasosi, elektron balans, kislotalilik o'lchagich va elektr portlatish quritish qutisi. Tanlab eritmaga o'tkazish sinovi GSH-2L avtoklavida o'tkazildi, uning tuzilishi 3-rasmda ko'rsatilgan[47]. Mis eritish shlaklari va eritish qoldig'idagi kimyoviy elementlarning miqdorini miqdoriy aniqlash uchun Pekin-Elmer optima-5300DV induktiv bog'langan plazma atom emissiya spektrometri (ICP-AES) ishlatilgan va mis eritish shlaklari va eritish qoldig'ining fazaviy tarkibini tavsiflash uchun X 'pert Pro MPD rentgen difraksiyasi (XRD) ishlatilgan, bunda 10 dan 90gacha skanerlash diapazonida Cu $K\alpha$ ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$) nurlanishi qo'llanilgan va

difraktometrning goniometr tezligi 2/min ni tashkil etgan. Tajribadagi asosiy asboblardan quyidagilar edi: GSH-2L yuqori bosimli reaktor (Shandong Weihai Chemical Machinery Co., Ltd.; Material: Sirkoniy; Amaldagi harorat: 250 C dan kam; Amaldagi bosim: 12,5Mpa dan kam; Aralashtirish tezligi: 0–1000 rpm), 2XZ-4 aylanma vakuum nasosi, elektron balans, kislotalilik o'lchagich va elektr portlatish quritish qutisi. Tanlab eritmaga o'tkazish sinovi GSH-2L avtoklavida o'tkazildi, uning tuzilishi 3-rasmda ko'rsatilgan. Qimmatbaho metallarni tanlab eritish va mis eritish shlaklarida temir-kremniy fazalarining oksidlovchi bosimli eritish orqali konfiguratsiyasini o'rganish [48].



3-rasm Avtoklav qurilmasining sxemasi [48].

I BOB BO‘YICHA XULOSALAR

1. Polimetall xomashyolarni qayta ishlashning jahon va mahalliy tajribasi tahlili shuni ko‘rsatdiki, tarkibida mis, rux va qo‘rg‘oshin birgalikda keluvchi murakkab va o‘tish zonali rudalarni an'anaviy pirometallurgiya yoki ko‘p bosqichli selektiv flotatsiya usullari bilan boyitish texnologik va iqtisodiy jihatdan past samaradorlikka ega.
2. Rangli metallarning fizik-kimyoviy xossalari va ularning mineralogik bog‘liqlik qonuniyatlari o‘rganilganda, sulfidli va oksidlangan minerallarning bir vaqtda mavjudligi tizimning gidravlik barqarorligini oshirishi hamda ularni tanlab eritish uchun kislotali-faollashtirilgan gidrometallurgik sxemalarni qo‘llash ilmiy jihatdan eng istiqbolli yo‘nalish ekanligini ko‘rsatdi.
3. Adabiyotlar tahlili asosida, tarkibida rux va mis miqdori yuqori bo‘lgan polimetall konsentratlarni to‘g‘ridan-to‘g‘ri sulfat kislotali muhitda intensiv parchalash jarayonlarining makrokinetik va topokimyoviy mexanizmlarini fundamental tadqiq etish, ruda resurslaridan kompleks foydalanishning yagona yechimi ekanligi aniqlandi.

II BOB. TADQIQOT OBYEKTIVA EKSPERIMENTAL USULLAR

2.1. Tadqiqot obyekti – polimetall rudaning tavsifi

Rangli metallurgiya korxonalarining barqaror rivojlanishi va xomashyo bazasini ta'minlash zamonaviy konchilik va metallurgiya fanining eng dolzarb muammolaridan biri hisoblanadi. Bugungi kunda global sanoat miqyosida monometall, ya'ni faqatgina bitta asosiy qimmatli komponentga ega bo'lgan va oson boyitiladigan ma'dan zaxiralari sezilarli darajada kamayib bormoqda. Buning natijasida, tarkibida bir vaqtning o'zida bir nechta rangli, asil va nodir metallarni saqlovchi, fizik-kimyoviy hamda mineralogik jihatdan o'ta murakkab tuzilishga ega bo'lgan polimetall ma'danlarni qayta ishlash zarurati yuzaga kelmoqda. Polimetall rudalar bu geologik shakllanish sharoitlari va paragenezis xususiyatlariga ko'ra o'zida mis (Cu), rux (Zn), qo'rg'oshin (Pb), temir (Fe) kabi asosiy metallarni hamda ma'lum miqdorda asil metallarni (oltin, kumush) va nodir elementlarni (kadiy, indiy, galliy, selen, tellur) jamlagan kompleks kon-kimyoviy xomashyodir. Mazkur tadqiqot ishi doirasida ilmiy va amaliy o'rganish obyekti sifatida tanlab olingan ruda namunalari aynan mis-rux va qo'rg'oshin-rux turidagi polimetall ma'danlar guruhiga mansub.

O'zbekiston Respublikasi geologik jihatdan bunday polimetall konlarga boy hududlardan biri bo'lib, uning hududida dunyo miqyosidagi noyob konlar ochilgan va qisman o'zlashtirilgan. Misol tariqasida Janubiy O'zbekistondagi Hisor tog'-kon mintaqasida joylashgan "Xandiza" konini, Olmaliq kon-metallurgiya kombinati bazasidagi "Uchquloq" konini, Markaziy Qizilqum hamda Chatqol-Qurama tog'laridagi bir qator kombinatsiyalashgan sulfidli konlarni keltirish mumkin. Ushbu hududlardan olingan texnologik namunalar o'zining mineral va kimyoviy assotsiatsiyalari bo'yicha yuqori ilmiy tadqiqot salohiyatiga ega. Laboratoriya va yarim sanoat sinovlarida olingan natijalarning aniqligi hamda sanoat miqyosiga to'g'ri ekstrapolyatsiya qilinishi namuna olish (sampling) va uni tayyorlash jarayonlarining qanchalik to'g'ri va ilmiy standartlarga muvofiq bajarilganligiga bog'liq. Ushbu dissertatsiya ishida ishlatilgan texnologik namuna konning turli gorelka va chuqurlik gorizontlaridan olingan birlamchi xomashyolarni aralashtirish

orqali "brutto-namuna" (yalpi namuna) ko'rinishida shakllantirildi. Yalpi namunaning umumiy massasi 150 kg ni tashkil etdi. Rudaning granulometrik tarkibida yirik bo'laklar (150 mm gacha) mavjud bo'lganligi sababli, namuna tarkibidagi metallarning o'rtacha qiymatini saqlab qolish uchun uni bosqichma-bosqich yanchish va elash jarayonlari amalga oshirildi. Jarayon davomida *Rittinger qonuni* va Chechott formulasiga amal qilindi:

$$m = k \cdot d^2$$

Bu yerda:

m — namunaning reprezentativligini saqlab qolish uchun zarur bo'lgan minimal massa, kg;

d — ma'dan donachalarining maksimal diametri, mm;

k — rudaning bir jinslilik (gomogenlik) koeffitsiyenti (murakkab va notekis taqsimlangan polimetall sulfidli rudalar uchun $k = 0,1-0,2$ oralig'ida qabul qilinadi).

Dastlabki yirik material laboratoriya jag'li maydalagichida (*Shed-1*) dastlab -25 mm gacha, so'ngra takroriy bosqichda -10 mm o'lchamgacha yanchildi. Shundan so'ng, material laboratoriya rolikli (valikli) silliqlash uskunasi o'tkazilib, uning o'lchami -2 mm gacha maydalashtirildi. Butun material massasini gomogenlashtirish maqsadida to'rt qismlash (kvartirovaniya) va xalqasimon-konussimon aralashtirish usullari qo'llanildi. Har bir bosqichda aniq tahlillar (kimyoviy, mineralogik) uchun 1-2 kg dan nazorat namunalari ajratib olindi. Flotatsiya tajribalarini o'tkazish uchun material maxsus porsiyalarga (500 g va 1000 g dan) qadoqlanib, havo o'tmaydigan polietilen idishlarda, sulfidli minerallarning sirtqi oksidlanishini oldini olish maqsadida quruq va salqin muhitda saqlandi.

Polimetall rudalarning mineralogik teksturasi va tuzilishini tushunish uchun ularning kelib chiqish (genezis) tarixini o'rganish talab etiladi. Tadqiqot obyekti bo'lgan mis-rux ma'danlari asosan gidrotermal-cho'kindi (VMS — Volcanogenic Massive Sulfide) va metasomatik skarn kelib chiqishiga ega. Gidrotermal jarayonlar yer qobig'ining chuqur qatlamlaridagi magmatik o'choqlardan ajralib chiquvchi yuqori haroratli (200-450 C), yuqori bosim ostidagi mineralizatsiyalashgan eritmalarning yer yuzasiga yaqin yoriqlar bo'ylab harakatlanishi bilan bog'liq.

Ushbu eritmalar tarkibida metallar asosan xloridli (Cl^-) va gidrosulfidli (HS^-) komplekslar shaklida transport qilinadi. Butun material massasini gomogenlashtirish maqsadida to'rt qismlash (kvartirovaniya) va xalqasimon-konussimon aralashtirish usullari qo'llanildi. Har bir bosqichda aniq tahlillar (kimyoviy, mineralogik) uchun 1-2 kg dan nazorat namunalari ajratib olindi. Flotatsiya tajribalarini o'tkazish uchun material maxsus porsiyalarga (500 g va 1000 g dan) qadoqlanib, havo o'tmaydigan polietilen idishlarda, sulfidli minerallarning sirtqi oksidlanishini oldini olish maqsadida quruq va salqin muhitda saqlandi. Muhit harorati pasayganda, bosim keskin tushganda yoki eritmaning atrof-muhitdagi neytral jinslar (ohaktoshlar, gillar) bilan reaksiyaga kirishishi natijasida muhitning pH ko'rsatkichi o'zgaradi. Natijada, metall sulfidlari erituvchanlik mahsulotidan oshib ketishi hisobiga ketma-ketlikda cho'kma hosil qiladi. Paragenetik tahlillarga ko'ra, konda mineral hosil bo'lish jarayoni bir nechta asosiy bosqichlarda kechgan:

1. Dastlabki temir-sulfid bosqichi: Bu bosqichda muhitda temir va oltingugurt ionlarining konsentratsiyasi yuqori bo'lib, yirik donali pirit (FeS_2) va qisman markazit minerallari shakllangan.

2. Polimetall (asosiy) bosqich: Haroratning 250-300 °C gacha pasayishi natijasida mis-temir sulfidi xalkopirit (CuFeS_2) va rux sulfidi sfalerit (ZnS) bir vaqtning o'zida va o'zaro chirmashgan holda cho'kkan. Aynan shu bosqich biz uchun eng muhim texnologik zonalarini tashkil etadi.

3. Kechki gidrotermal va karbonat bosqichi: Bu bosqichda past haroratli minerallar, galenit (PbS), shuningdek, tomirli jinslar kvars (SiO_2), kalsit (CaCO_3) va barit (BaSO_4) hosil bo'lgan. Optik mikroskopiya (aks etuvchi nurda ishlovchi polarizatsion mikroskoplar yordamida) va skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM-EDX) natijalari tadqiqot obyektining mineral tarkibi nihoyatda rang-barang ekanligini ko'rsatdi. Rudani tashkil etuvchi minerallarni shartli ravishda uchta yirik guruhga ajratish mumkin: asosiy ruda minerallari, ikkilamchi va yo'ldosh minerallar hamda tomirli (fonsiz) jins minerallari.

Asosiy ruda minerallari: Xalkopirit (CuFeS_2): Misning asosiy manbai bo'lib, ma'dandagi umumiy ulushi 3,5–5,0% atrofida. Mikroskop ostida u o'ziga xos

tillasimon-sariq rang va yuqori aks ettirish qobiliyati ($R \approx 44\%$) bilan ajralib turadi. Xalkopirit donachalari ko'pincha pirit yoriqlarida sementlovchi material sifatida yoki sfalerit donalari ichida o'ta mayda "emulsiya" (erish ajralmasi) shaklida uchraydi. Bunday struktura mis mineralini rux mineralidan ajratishda juda katta qiyinchiliklar tug'diradi. **Sfalerit (ZnS):** Ruxning asosiy mineral komponenti bo'lib, ma'dandagi miqdori 6,0–8,5% oralig'ida o'zgaradi. U asosan mavg'ish-kulrang yoki to'q jigarrang tusga ega bo'lib, uning tarkibida doimo temir izomorflari mavjud (ferrosfalerit yoki marmatit). Sfaleritning kristall panjarasidagi temir miqdori 5-12% gacha yetishi mumkin, bu esa yakuniy rux konsentratining sifatini pasaytiruvchi ichki omil hisoblanadi. **Pirit (FeS_2):** Ma'danning eng ko'p tarqalgan sulfidli minerali (ulushi 20–35%). U och sariq rangli, yuqori qattqlikka ega va asosan kubik yoki pentagon-dodekaedrik kristall shaklida uchraydi. Pirit flotatsiya jarayonida mis va rux kabi qimmatli minerallarning yuzasini to'suvchi va reagentlarni behuda sarf qiluvchi asosiy "ballast" mineral vazifasini o'taydi.

Ikkilamchi va yo'ldosh minerallar: Xalkozin (Cu_2S) va Kovellin (CuS): Bular ma'danning yuqori qatlamlarida, ya'ni birlamchi sulfidlarning tabiiy oksidlanishi va ikkilamchi sulfidli boyish zonalarida hosil bo'ladi. Ularning mavjudligi flotatsiya jarayonida mis ionlarining (Cu^{2+}) pulpaga muddatidan oldin ajralib chiqishiga olib keladi. Bu esa o'z navbatida rux mineralini (sfaleritni) asossiz faollashtirib, selektiv ajratish (separatsiya) indekslarini keskin yomonlashtiradi. **Galenit(PbS):** Qo'rg'oshin sulfidi bo'lib, kichik donachalar shaklida (0,5-1,2%) sfalerit va pirit bilan chegaradosh zonalarda namoyon bo'ladi.

Tomirli (gof) jins minerallari: **Kvars (SiO_2):** Rudaning asosiy tarkibiy qismi (35-45%). U abrazivlik xususiyatini oshiradi va yanchish uskunalarining yeyilishiga sabab bo'ladi. **Kalsit ($CaCO_3$) va Dolomit ($CaMg(CO_3)_2$):** Karbonatli minerallar bo'lib, gidrometallurgik kislotali eritish jarayonlarida kislota buferligini keltirib chiqaradi va kislota sarfini keskin oshirib yuboradi. Tadqiqotga olingan polimetall rudaning aniq o'rtacha kimyoviy tarkibini aniqlash maqsadida Rentgen-fluorestsent spektrometri (XRF) va Atom-absorbsion spektroskopiya (AAS) usullaridan foydalanildi. Namunaning o'rtacha tahliliy natijalari 4-jadvalda keltirilgan.

Polimetall ruda namunasining to'liq kimyoviy-elementar tarkibi

4-jadval

Element / Birikma	Massaviy ulushi, %	Rol va texnologik ahamiyati
Mis (Cu)	1,45	Asosiy qimmatli komponent (ajratib olinadi)
Rux (Zn)	4,82	Asosiy qimmatli komponent (ajratib olinadi)
Qo'rg'oshin (Pb)	0,65	Yo'ldosh rangli metall
Temir (Fe)	14,2	Pirit va xalkopirit tarkibidagi zararli aralashma
Oltinugurt (Sumumiy)	18,6	Sulfid hosil qiluvchi element
Silسيوم dioksid (SiO ₂)	42,15	Asosiy tomirli jins (ballast)
Kalsiy oksid (CaO)	3,8	Karbonatli jins elementi
Magniy oksid (MgO)	1,95	Karbonatli jins elementi
Alyuminiy oksid (Al ₂ O ₃)	5,4	Gilli minerallar tarkibiy qismi
Oltin (Au)	1,2 g/t	Asil metall (konsentratga o'tadi)
Kumush (Ag)	32,5 g/t	Asil metall (mis konsentratiga o'tadi)

Kimyoviy tahlil natijalaridan ko'rinib turibdiki, ruda sanoatbop mis-rux ma'danlari toifasiga kiradi. Biroq, undagi temir va oltinugurt miqdorining yuqoriligi (Fe = 14,20%, S = 18,60%) tizimda piritizatsiya jarayonining juda kuchli ekanligidan dalolat beradi. Bu esa flotatsiyada piritni chuqur depressiyalash (cho'ktirish) uchun maxsus reagent rejimlarini qo'llashni taqozo etadi. Ma'danning teksturasi va strukturasi boyitish va gidrometallurgik eritish jarayonlarining texnologik ko'rsatkichlarini (metall ajralishi, konsentrat sifati) belgilab beruvchi eng fundamental mezonlardan biridir. Biz o'rganayotgan polimetall namunada quyidagi asosiy tekstura turlari aniqlandi:

1. Yalpi (massiv) sulfidli tekstura: Bunda sulfid minerallari (pirit, sfalerit, xalkopirit) uzluksiz, bir jinsli massani hosil qiladi. Bunday zonalarini yanchish nisbatan oson, biroq ularning o‘zaro chirmashishi yuqori bo‘ladi.

2. Tomirli-chiziqli (veinlet) tekstura: Qimmatli minerallar tomirli jinslar (kvars, kalsit) yoriqlarida ingichka iplar va tomirlar holida joylashgan. Bu struktura materialni chuqur maydalashni talab etadi, aks holda minerallar "ochilmaydi" (dissotsiatsiya bo‘lmaydi) va chiqindiga chiqib ketadi.

3. Dog‘simon (breshasimon) tekstura: Sulfidlar jins ichida alohida dog‘lar yoki izolyatsiyalangan agregatlar shaklida uchraydi. Mikrostruktura nuqtayi nazaridan eng xavfli va murakkab tuzilish bu "sfalerit ichidagi xalkopirit emulsiyasi" (solid solution exsolution) hisoblanadi. Yuqori haroratli gidrotermal eritma sovishi jarayonida mis ionlari rux kristall panjarasidan siqib chiqariladi va sfalerit donasi ichida o‘lchami 1-5 μm (mikron) bo‘lgan o‘ta mayda xalkopirit nuqtalari hosil bo‘ladi. Bunday mayda zarrachalarni hatto eng ilg‘or mexanik yanchish uskunalarini yordamida ham bir-biridan ajratish mutloq imkonsizdir. Bu holat flotatsiya jarayonida rux konsentratiga misning, yoki aksincha, mis konsentratiga ruxning o‘tib ketishiga (mexanik va strukturaviy ifloslanishga) sabab bo‘ladi. Kon-metallurgiya uskunalarini (maydalagichlar, tegirmonlar, gidrosiklonlar) hisoblash va loyihalash uchun tadqiqot obyektining fizik-mexanik xususiyatlarini bilish zarur. Quyida namunaning laboratoriya sharoitida aniqlangan asosiy ko‘rsatkichlari keltirilgan:

Zichlik va solishtirma og‘irlik: Rudaning o‘rtacha qattiq fazaviy zichligi $3,65 \text{ g/sm}^3$ ni tashkil etdi (bu ko‘rsatkich tarkibidagi og‘ir sulfidlar — pirit va sfalerit miqdori ko‘pligi sababli oddiy kvars jinslariga nisbatan yuqoridir). Ma’danning g‘ovaklik darajasi past — 1,2-1,8%.

Qattqlik (Moos shkalasi bo‘yicha): Kvars va pirit komponentlari uchun 6-6,5, sfalerit va xalkopirit uchun esa 3,5-4 oralig‘ida. Bu esa rudaning o‘rtacha va yuqori darajadagi qattqlikka va abrazivlikka ega ekanligini ko‘rsatadi. Tadqiqot obyektining chuqur kimyoviy-mineralogik tavsifi an’anaviy boyitish usullarida

nima sababdan metall ajralish darajasi past ekanligini ilmiy jihatdan asoslab beradi. Asosiy muammolar sirasiga:

Minerallarning o‘zaro o‘ta mayda va chirmashgan kombinatsiyada joylashganligi;

Pirit ballastining ko‘pligi va uning qimmatli minerallar yuzasini qoplab olishi;

Minerallarning sirtqi qatlamlarining tabiiy oksidlanishi natijasida ularning flotatsion flotoreaktivlik xususiyatlarining o‘zgarishi kiradi. Mikrostruktura nuqtayi nazaridan eng xavfli va murakkab tuzilish bu "sfalerit ichidagi xalkopirit emulsiyasi" (solid solution exsolution) hisoblanadi. Yuqori haroratli gidrotermal eritma sovishi jarayonida mis ionlari rux kristall panjarasidan siqib chiqariladi va sfalerit donasi ichida o‘lchami 1-5 μm (mikron) bo‘lgan o‘ta mayda xalkopirit nuqtalari hosil bo‘ladi. Bunday mayda zarrachalarni hatto eng ilg‘or mexanik yanchish uskunalari yordamida ham bir-biridan ajratish mutloq imkonsizdir. Bu holat flotatsiya jarayonida rux konsentratiga misning, yoki aksincha, mis konsentratiga ruxning o‘tib ketishiga (mexanik va strukturaviy ifloslanishga) sabab bo‘ladi. Kon-metallurgiya uskunalarini (maydalagichlar, tegirmonlar, gidrosiklonlar) hisoblash va loyihalash uchun tadqiqot obyektiining fizik-mexanik xususiyatlarini bilish zarur. Quyida namunaning laboratoriya sharoitida aniqlangan asosiy ko‘rsatkichlari keltirilgan:

Ushbu muammolarni bartaraf etish va polimetall rudalardan mis hamda rux ajratib olish samaradorligini oshirish maqsadida, mazkur dissertatsiya ishida an’anaviy flotatsiyani yangi kimyoviy reagentlar rejimi (selektiv kollektor va modifikatorlar) bilan takomillashtirish hamda flotatsiya chiqindilarini gidrometallurgik (avtoklavli va atmosfera sharoitida kislotali) tanlab eritish usullari orqali qayta ishlovchi *kombinatsiyalashgan innovatsion texnologik sxema* tadqiq etiladi.

2.2. Ruda tarkibini aniqlash usullari

Rangli va qimmatbaho metallar sanoatining barqaror rivojlanishi bevosita xomashyo bazasining sifati va mineralogik xususiyatlariga bog'liq. Global miqyosda oson boyitiladigan va yuqori foizli monometall (tarkibida faqat bir turdagi metall saqlovchi) konlarning jadal sur'atlar bilan kamayishi va ishlab chiqarish aylanmasidan chiqib ketishi natijasida, tog'-kon va metallurgiya majmualari oldida o'ta murakkab, tarkibida bir vaqtning o'zida mis, rux, qo'rg'oshin va boshqa nodir elementlarni saqlovchi polimetall rudalarni qayta ishlash vazifasi ko'ndalang turibdi. Geokimyoviy nuqtayi nazardan polimetall rudalar bu Yer qobig'ining endogen va ekzogen jarayonlari natijasida tarkibida turli metall sulfidlarining paragenezisi hamda assotsiatsiyalarini mujassam etgan murakkab tabiiy tizimlardir.

Polimetall konlar o'zlarining geologik tuzilishi va hosil bo'lish sharoitlariga ko'ra bir nechta yirik sanoat-genetik turlariga bo'linadi:

Tratiform (qatlamli) konlar: Bular asosan cho'kindi va metamorfik jinslar orasida qatlam-qatlam bo'lib joylashadi. Ularning tarkibida qo'rg'oshin va rux miqdori yuqori bo'lib, mis konsentratsiyasi nisbatan past bo'ladi. Karbonatli jinslar (ohaktoshlar, dolomitlar) tarkibidagi bunday konlar dunyoda Missisipi tipidagi (\$MVT\$) konlar sifatida keng tanilgan.

Vulkanogen-massiv sulfidli (\$VMS\$ - Volcanogenic Massive Sulfide) konlar: Ushbu konlar qadimgi yoki hozirgi okean tubidagi vulkanik faollik va gidrotermal eritmalarning chiqishi (masalan, "qora chekuvchilar") natijasida shakllanadi. Ular mis va rux metallariga o'ta boyligi bilan ajralib turadi. Biz tadqiq qilayotgan obyekti aynan mana shu sanoat-genetik turiga mansub bo'lib, tarkibida mis-rux nisbati texnologik jihatdan yuqori ahamiyat kasb etadi.

Skarn va metasomatik konlar: Magmaning karbonatli jinslar bilan o'zaro kontakt reaksiyasiga kirishishi natijasida hosil bo'ladi. Ularning strukturasi favqulodda notekis taqsimlanganligi va mineral donachalarining o'ta chirmashganligi bilan xarakterlanadi.

O'zbekiston Respublikasi o'zining geologik joylashuvi (Tyan-Shan burmalanish oblasti) sababli polimetall konlariga juda boy hisoblanadi. Janubiy

Tyan-Shan geologik mintaqasida (Hisor tog‘ tizmalari) joylashgan dunyo miqyosidagi yirik "Xandiza" koni, Chatqol-Qurama regionidagi "Qo‘rg‘oshinkan", "Oltintopgan" hamda Olmaliq kon-metallurgiya kombinati (OKMK) tasarrufidagi kombinatsiyalashgan sulfidli ma‘dan zaxiralari mamlakatimiz metallurgiya sanoatining quvvatini belgilab beradi. Mazkur dissertatsiya doirasida o‘rganilayotgan texnologik namuna aynan mahalliy konlarning chuqur gorizontlaridan olingan bo‘lib, sanoat uchun yangi innovatsion boyitish sxemalarini ishlab chiqishda bazaviy model bo‘lib xizmat qiladi. Tog‘-kon va metallurgiya tadqiqotlarida olingan laboratoriya natijalarining ishonchliligi va ularning kelajakda sanoat miqyosiga to‘g‘ri transformatsiya qilinishi namuna olish (sampling) jarayonining geostatistik va metrologik qoidalarga qanchalik mos kelishi bilan aniqlanadi. Agar dastlabki olingan namuna butun boshli kon yoki texnologik blokning o‘rtacha xususiyatlarini aks ettira olmasa (ya’ni reprezentativ bo‘lmasa), barcha keyingi kimyoviy, flotatsion va gidrometallurgik natijalar ilmiy qiymatini yo‘qotadi.

Ushbu tadqiqot ishi uchun konning turli qatlamlari, qazib olish bloklari va burg‘ulash quduqlaridan olingan materiallar asosida umumiy massasi 150 kg bo‘lgan texnologik yalpi namuna (brutto-namuna) shakllantirildi. Ruda bo‘laklarining maksimal o‘lchami birlamchi holatda $150\text{--}200 \text{ mm}$ ni tashkil etdi. Bunday yiriklikdagi materialda qimmatli komponentlarning taqsimlanishi nihoyatda o‘zgaruvchan bo‘lganligi sababli, namuna olish va uning hajmini kamaytirish jarayonlarida **Rittinger-Chechott qonuniyati** qo‘llanildi:

$$Q = k d^2$$

Bu yerda:

Q — namunaning reprezentativligini yo‘qotmasdan saqlab qolish mumkin bo‘lgan minimal ruxsat etilgan massasi, kg;

d — ma‘dan tarkibidagi eng yirik donachaning diametri, mm;

k — rudaning tarkibiy gomogenligi va foydali minerallarning taqsimlanish xarakterini belgilovchi empirik koeffitsiyent. Biz o‘rganayotgan murakkab,

tarkibida mis va rux sulfidlari notekis chirmashgan polimetall ruda uchun $k = 0,15$ deb qabul qilindi.

Namuna tayyorlash jarayoni quyidagi qat'iy texnologik sxema asosida bosqichma-bosqich amalga oshirildi:

Birlamchi va ikkilamchi maydalash: Yirik toshqol va ma'dan bo'laklari laboratoriya jag'li maydalagichida (Shed-1 rusumli) dastlab -50 mm gacha, so'ngra kameraning dahanini toraytirish orqali -15 mm gacha yanchildi.

O'rta va mayda yanchish: Material elakdan o'tkazilib, elak usti mahsuloti laboratoriya rolikli-valikli silliqlash uskunasi yuborildi. Bir necha marta takrorlangan yopiq siklli maydalash natijasida butun material massasi -2 mm granulometrik sinfiga keltirildi.

Gomogenlashtirish va kvartirovaniya: Olingan barcha kukunsimon material silliq yuzaga konussimon shaklda to'plandi. So'ngra xalqasimon-konussimon aralashtirish usuli yordamida material 4-5 marta qayta ag'darilib, to'liq bir jinsli holatga keltirildi. To'rt qismlash (kvartirovaniya) usuli orqali geometrik jihatdan qarama-qarshi choraklar birlashtirildi va namunaning massasi bosqichma-bosqich 150 kgdan 50 kg gacha, so'ngra laboratoriya tajribalari ehtiyojiga qarab 1 kg va 0,5 kg li porsiyalarga ajratildi.

Oksidlanishdan himoya qilish: Polimetall rudalardagi sulfidli minerallar (ayniqsa xalkopirit va sfalerit) havo tarkibidagi kislorod va namlik ta'sirida tezda sirtqi oksidlanishga uchraydi va bu ularning flotatsion xossalarini o'zgartiradi. Buning oldini olish maqsadida porsiyalangan namunalar maxsus vakuumli polietilen paketlarga qadoqlandi va quruq gaz (azot) muhitida saqlandi.

Tadqiqot obyekti hisoblangan mis-rux rudasining fizik-kimyoviy tabiatini fundamental darajada tushunish uchun uning kelib chiqish tarixi ontogenezi va paragenezisini geokimyoviy tahlil qilish lozim. Minerallarning kelib chiqishi mezozoy yoki paleozoy eralarining magmatik va tektonik faollik davrlariga borib taqaladi. Yer qobig'ining chuqur qatlamlarida joylashgan magmatik o'choqlardan ajralib chiqqan yuqori haroratli va yuqori bosimli gidrotermal eritmalar tektonik yoriqlar va sinklinal zonalar bo'ylab yuqoriga harakatlanadi. Ushbu gidrotermal

eritmalar tarkibida mis, rux, qo'rg'oshin va temir metallari erigan holatda, asosan xloridli komplekslar ($[MeCl_4]^{2-}$) yoki gidrosulfidli terminallar ($[Me(HS)_4]^{2-}$) ko'rinishida tashiladi. Eritma yuqoriga ko'tarilib, atrof-muhitdagi cho'kindi, karbonatli va vulkanogen jinslar bilan kontaktga kirishganda, bir qator fizik-kimyoviy o'zgarishlar yuz beradi:

Haroratning pasayishi: $450^{\circ}C$ dan $150^{\circ}C$ gacha tushishi natijasida komplekslarning termodinamik barqarorligi yo'qoladi.

Bosimning keskin kamayishi: Yoriqlarga chiqqanda gazlar (H_2S , CO_2) ajralib chiqadi va tizim muvozanati o'zgaradi.

pH ko'rsatkichining ortishi: Ohaktoshlar ($CaCO_3$) bilan reaksiyaga kirishish eritmaning kislotaliligini neytrallaydi va kislotali muhitdan ishqoriy muhitga o'tish metall sulfidlarining cho'kishini stimullaydi.

Geologik-paragenetik tahlillar konda mineral hosil bo'lish jarayoni uchta yirik ketma-ketlik kation-anion fazalarida kechganligini ko'rsatadi:

Pirit-markazit (ilk sulfid) fazasi: Bu bosqich yuqori haroratlarda ($350-400^{\circ}C$) kechib, eritmada temir va oltingugurtning o'zaro bog'lanishi hisobiga yirik kristalli pirit (FeS_2) va qisman pirotin ($Fe_{1-x}S$) minerallarining karkasini hosil qiladi. Bu karkas keyinchalik boshqa minerallar uchun asos vazifasini o'taydi. Xalkopirit-sfalerit (polimetall) fazasi: Haroratning $250-320^{\circ}C$ gacha pasayishi va oltingugurt potensialining o'zgarishi davrida mis va rux sulfidlarining birgalikda massiv cho'kishi boshlanadi. Aynan shu faza ma'danning sanoatbop qismini shakllantiradi. Bu davrda xalkopirit va sfalerit bir-birining kristall panjaralari ichiga kirib boradi va qattiq eritmalar hosil qiladi. Galenit-karbonat-kvars (yakuniy gidrotermal) fazasi: Harorat $200^{\circ}C$ dan pastga tushganda qo'rg'oshin sulfidi (galenit) hamda asil metallar (oltin va kumushning mikron o'lchamli zarrachalari) cho'kadi. Jarayon kvars va kalsit kabi tomirli minerallarning yoriqlarni to'ldirishi bilan yakunlanadi.

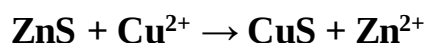
Polyarizatsion mikroskoplarda (aks etuvchi nurlar ostida) va skanerlovchi elektron mikroskopiyada (SEM-EDX) olib borilgan mineralogik va petrografik tahlillar natijasida ruda tarkibining faza profili to'liq aniqlandi. Ruda minerallari

o'zlarining miqdori va texnologik roliga ko'ra uchta asosiy guruhga klassifikatsiyalandi.

Asosiy ruda (qimmatli) minerallari. Xalkopirit (**CuFeS₂**): Ma'dandagi massiv ulushi 3,8–4,8% atrofida o'zgarib turadi. Kristallografik jihatdan tetragonal singoniyaga ega. Aks etuvchi nur ostida aniq tillasimon-sariq rang, kuchli anizotropiya va yuqori aks ettirish koeffitsiyenti ($R \approx 44\%$) bilan xarakterlanadi. Xalkopirit rudada asosan uch xil morfologik shaklda uchraydi: yirik izolyatsiyalangan donalar (o'lchami 0,1-0,5 mm), pirit kristallarining yoriqlaridagi mikro-tomirlar va sfalerit donalari ichidagi submikron o'lchamli "emulsiya" ko'rinishida. **Sfalerit (ZnS)**: Ruxning asosiy mineral formasi bo'lib, uning miqdori ma'danda 5,5–7,8% ni tashkil qiladi. Kubik singoniyada kristallanadi. Nur ostida mavg'ish-kulrang bo'lib, ichki reflekslari jigarrangdan sariqqacha o'zgaradi. Biz o'rganayotgan namunadagi sfalerit mineralining o'ziga xos xususiyati uning tarkibida yuqori miqdorda izomorf temir aralashmasining borligidir (marmatit modifikatsiyasi). Kristall panjaradagi rux ionlarining (Zn^{2+}) bir qismi temir ionlari (Fe^{2+}) bilan almashgan bo'lib, uning tarkibidagi temir miqdori 8,5-11,2 gacha yetadi. Bu holat flotatsiya yo'li bilan toza rux konsentrati ($>50\%$ Zn) olishni qiyinlashtiradi, chunki temir ruxning ulushini tabiiy ravishda kamaytiradi.

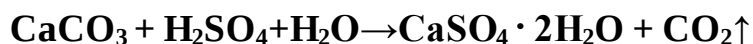
Ikkilamchi va yo'ldosh minerallar. Pirit (**FeS₂**): Ma'dandagi eng ko'p tarqalgan sulfid minerali (25,0–34,0%). Kubik singoniyaga ega, sarg'ish-oq rangli, o'ta yuqori qattqlik va elektr o'tkazuvchanlikka ega. Pirit ko'pincha yirik va pishiq agregatlar hosil qiladi. Flotatsiya jarayonida pirit asosan ballast hisoblanadi va uning yuzasi ksantogenat kollektorlari bilan qisman gidrofoblanishi mumkin, bu esa mis va rux konsentratlarining pirit bilan ifloslanishiga olib keladi. **Galenit (PbS)**: Qo'rg'oshin sulfidi bo'lib, miqdori 0,4-0,8% oralig'ida. Toza kubik chiziqlari va ko'k-kulrang tusi bilan mikroskopda yaqqol ko'rinadi. **Bornit (Cu₅FeS₄)**, **Xalkozin (Cu₂S)** va **Kovellin (CuS)**: Bular konda birlamchi minerallarning tabiiy ravishda sirtqi yemirilishi (gipergenez sirtqi oksidlanishi) natijasida hosil bo'lgan ikkilamchi mis minerallari guruhidir. Ularning rudada oz miqdorda (0,2-0,5%) bo'lishi ham texnologik nuqtayi nazardan jiddiy muammo tug'diradi. Chunki

xalkozin va kovellin sulfat kislotali yoki suvli muhitda oson erib, pulpaga erkin mis ionlarini (Cu^{2+}) ajratib chiqaradi. Bu ionlar esa rux minerali (sfalerit) yuzasiga borib o'tiradi va uni mis kabi faollashtiradi (aktivatsiya):



Natijada, hali mis flotatsiyasi tugamasdan turib, rux minerali ham mis bilan birga ko'pikka chiqishni boshlaydi va selektivlik butunlay yo'qoladi.

Tomirli va fonsiz jins minerallari. Kvars (SiO_2): Ma'danning asosiy karkasini tashkil etuvchi mineral (38,0-46,0%). Yuqori mexanik mustahkamlikka va abrazivlikka ega. **Kalsit (CaCO_3), Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) va Ankerit:** Karbonatli jins minerallari bo'lib, umumiy miqdori 6,0-9,5 % atrofida. Ular gidrometallurgiya jarayonlari uchun eng zararli komponentlardir, chunki gidrometallurgik kislotali tanlab eritishda sulfat kislota (H_2SO_4) bilan birinchi bo'lib reaksiyaga kirishadi va kislotani neytrallab, gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) cho'kmasini hosil qiladi:



Bu jarayon kislota sarfini keskin oshirish bilan birga, hosil bo'lgan gips qobig'i metall minerallari yuzasini qoplab, ularning erishiga to'sqinlik qiladi.

Kimyoviy va elementar tarkibning instrumental ekspress tahlillari. Tadqiqotga olingan o'rtacha texnologik namunaning to'liq kimyoviy profilini aniqlash maqsadida zamonaviy instrumental tahlil usullari kompleksidan foydalanildi. Elementlar tarkibi Rentgen-fluorestscent spektrometri (XRF, Panalytical, Axios) hamda Atom-absorbsion spektroskopi (AAS, Agilent, 240FSAA) yordamida bir necha marta parallel ravishda tekshirildi. Tahlillarning o'rtacha statistik natijalari 1-jadvalda batafsil aks ettirilgan.

Polimetall ruda namunasining chuqur elementar va oksidsimon kimyoviy tarkibi

5-jadval

Element/Komponent	Massaviy miqdori, %	Standart og'ish (σ)	Texnologik va sanoat ahamiyati
--------------------------	----------------------------	--	---------------------------------------

Mis (Cu)	1,48	0,04	Asosiy qimmatli metall, selektiv flotatsiya va gidrometallurgiya obyekti
Rux (Zn)	4,92	0,12	Asosiy qimmatli metall, yuqori iqtisodiy qiymatga ega element
Qo'rg'oshin (Pb)	0,58	0,02	Yo'ldosh rangli metall, boyitishda chiqindiga yoki alohida mahsulotga o'tadi
Temir (Fe)	15,10	0,35	Pirit va marmatit tarkibidagi ballast metall, jarayonni murakkablashtiradi
Oltinugurt (S sulfid)	19,45	0,42	Minerallarning sulfidli tabiatini belgilaydi, pirometallurgiyada gaz hosil qiladi
Kvars (SiO₂)	41,20	0,85	Asosiy fonsiz jins, abrazivlik va mexanik yuklamani oshiradi
Kalsiy oksid (CaO)	4,12	0,15	Karbonatli guruh, gidrometallurgiyada yuqori kislota sarfiga sabab bo'ladi
Magniy oksid (MgO)	1,85	0,08	Karbonatli aralashma, eritma ion tarkibini murakkablashtiradi
Alyuminiy oksid (Al₂O₃)	5,12	0,18	Gilli slaneslar tarkibi, pulpa yopishqoqligini (viskozitetini) oshiradi

Marganes (Mn)	0,22	0,01	Mikroaralashma, sfalerit panjarasida uchrashi mumkin
Kadmiy (Cd)	140 g/t	5,0	Rux bilan birga harakatlanadigan yuqori qiymatli nodir element
Oltin (Au)	1,35 g/t	0,1	Asil metall, mis konsentratida boyitiladi
Kumush (Ag)	34,2 g/t	1,2	Asil metall, qo'rg'oshin va mis fazalarida to'planadi

Jadval ma'lumotlarining geokimyoviy tahlili shuni ko'rsatadiki, ruda yuqori darajada sulfidlangan ($S = 19,45\%$). Mis va ruxning o'zaro nisbati ($Cu: Zn \approx 1:3,3$) ushbu xomashyoni tipik mis-rux polimetall kombinatsiyasiga kiritadi. Tarkibdagi oltin va kumush miqdorining sezilarli darajada ekanligi ($Au = 1,35 \text{ g/t}$, $Ag = 34,2 \text{ g/t}$) yakuniy boyitish texnologiyasida ushbu asil metallarni ham mis yoki rux konsentratlariga maksimal darajada o'tkazish (yo'ldosh ajratib olish) zarurligini ko'rsatadi.

Tekstura-struktura xususiyatlarining minerallarning dissotsiatsiyalanish (ochilish) darajasiga ta'siri. Ma'danning teksturasi (minerallarning makroskopik joylashishi va fazoviy taqsimoti) hamda strukturasi (kristall donachalarining mikroskopik shakli va o'lchamlari) boyitish zavodlarida rudani necha mikrongacha maydalash kerakligini belgilaydigan eng asosiy ilmiy mezon hisoblanadi. Tadqiqot obyektida quyidagi tekstura turlari dominantni aniqlandi:

Massiv sulfidli tekstura: Rudaning markaziy qismlarida pirit, sfalerit va xalkopirit minerallari uzluksiz tutashgan massani hosil qiladi. Bunday teksturada minerallar nisbatan yirik ($100-200 \text{ } \mu\text{m}$) bo'lib, o'rtacha maydalash bosqichlarida ham bir-biridan ajralishi (ochilishi) mumkin.

Tomirli-chiziqli va mayda dog'simon tekstura: Qimmatli minerallar kvars va karbonat karkasining ichidagi mikroskopik yoriqlarda, o'lchami $10-40 \text{ } \mu\text{m}$ bo'lgan mayda zarrachalar yoki dog'lar holida o'tiradi. Bunday teksturani boyitish uchun

materialni o'ta mayda (ultra-fine grinding) yanchish talab etiladi, aks holda tomirli jins donasi ichida qolib ketgan metall zarrachalari flotatsiya kamerasida ko'pikka chiqqa olmay, chiqindi (tailings) tarkibida yo'qotiladi. Mikrostruktura sohasidagi eng jiddiy texnologik to'siq bu "**sfalerit ichidagi xalkopiritning emulsiya simon erish strukturasi**" (exsolution texture) hisoblanadi. Gidrotermal eritmaning geologik vaqt davomida sovishi natijasida yuqori haroratli qattiq eritma parchalangan va sfalerit (ZnS) kristallarining ichki zonalari hamda kristallografik tekisliklari bo'ylab o'lchami 0,5 -5 μm gacha bo'lgan mayda nuqtasimon xalkopirit (CuFeS_2) donachalari ajralib chiqqan. Ushbu mikron o'lchamli xalkopirit zarrachalarini mexanik usulda (hatto eng zamonaviy vertikal tegirmonlarda ham) sfaleritdan to'liq ajratish jismonan imkonsizdir. Bu strukturaning mavjudligi ikki tomonlama zarar keltiradi:

Flotatsiya jarayonida rux konsentrati olganda, sfalerit donasi ichidagi mis ($\text{\$Cu\$}$) rux mahsulotiga o'tib ketadi va rux konsentratining sifatini pasaytiradi;

Mis flotatsiyasida esa ushbu donalar mis kollektori bilan birga mis konsentratiga o'tishi natijasida mis konsentratida rux ($\text{\$Zn\$}$) miqdori asossiz ravishda ortib ketadi.

Ushbu muammoning yagona ilmiy yechimi an'anaviy mexanik boyitish usullaridan voz kechib, bunday o'ta chirmashgan oraliq mahsulotlarni (promproduktiv) yoki kombinatsiyalashgan flotatsiya konsentratlarini gidrometallurgik tanlab eritish (leaching) usuli bilan kimyoviy parchalashdir, bu loyihamizning asosiy g'oyasini tashkil etadi. Rudaning fizik-mexanik, reologik va texnologik xossalari. Sanoat korxonalarining texnologik uskunalarini (maydalagichlar, sharli va sterjenli tegirmonlar, gidrosiklonlar, flotatsiya kameralari) aniq loyihalash, ularning quvvatini hisoblash va energiya sarfini optimallashtirish uchun tadqiqot obyektiining fizik-mexanik parametrlari laboratoriya sharoitida mukammal o'rganildi:

Zichlik va solishtirma og'irlik: Rudaning o'rtacha qattiq fazaviy zichligi piknometrik usulda aniqlanganda $3,68 \text{ g/sm}^3$ ni tashkil etdi. Bu ko'rsatkich oddiy kvarsli yoki gilli jinslarga ($2,6\text{-}2,7 \text{ g/sm}^3$) nisbatan ancha yuqoridir, bunga sabab

tarkibida og'ir xomashyo minerallari pirit (zichligi $5,0 \text{ g/sm}^3$) va sfalerit (zichligi $4,1 \text{ g/sm}^3$) miqdorining ko'pligidir. Ma'danning yalpi hajmiy zichligi (g'ovaklik va bo'shliqlarni hisobga olgan holda) $3,25 \text{ t/m}^3$ ga teng.

Abrasivlik va Moos qattiqligi: Ruda tarkibidagi kvars va pirit minerallarining Moos shkalasi bo'yicha qattiqligi $6,0-6,5$ ni, sfalerit va xalkopiritniki esa $3,5-4,0$ ni tashkil qiladi. Minerallarning bunday kombinatsiyasi materialning yuqori darajada abrazivlikka ega ekanligini ko'rsatadi. Bu esa yanchish jarayonida shar va futirobkalarning mexanik yeyilish koeffitsiyentini oshiradi.

Bond bo'yicha ish indeksi (\$Wi\$ Bond Ball Mill Work Index): Materialning laboratoriya sharli tegirmonida yanchilishga bo'lgan kinetik chidamliligini aniqlash maqsadida Bond metodikasi bo'yicha standart sinovlar o'tkazildi. Olingan natijalarga ko'ra, mazkur polimetall ruda uchun Bond ish indeksi $Wi = 14,95 \text{ kWh}$ ga teng deb topildi. Standart tasniflagichga ko'ra, ushbu qiymat ma'danning "o'rtacha-qattiq" (\$medium-hard\$) guruhiga mansubligini ko'rsatadi va sanoat tegirmonlarining quvvat sarfini prognoz qilish uchun asos bo'ladi. Texnologik to'siqlar tahlili va tadqiqot yo'nalishining ilmiy asoslanishi. Tadqiqot obyektlarining geologik, kimyoviy va mineralogik xususiyatlarini chuqur va har tomonlama tahlil qilish an'anaviy tog'-kon zavodlarida mis va ruxni ajratib olish darajasi nima sababdan past ekanligini ilmiy jihatdan to'liq dalillab beradi. Aniqlangan asosiy texnologik to'siqlar va muammolar quyidagilardan iborat:

Strukturaviy murakkablik: Xalkopiritning sfalerit ichida submikron o'lchamli emulsiya holida joylashganligi sababli mexanik usullar bilan toza selektiv konsentratlar olish chegaralangan.

Pirit ballastining yuqoriligi: Ma'dandagi pirit miqdorining ($>25\%$) ko'pligi flotatsiya jarayonida uning yuzasini mukammal depressiyalashni (cho'ktirishni) talab qiladi, aks holda u mis va rux konsentratlarini ifloslantiradi.

Ikkilamchi sulfidlarning aktivatsiyasi: Tarkibdagi xalkozin va kovellinning tabiiy erishi natijasida hosil bo'lgan erkin Cu^{2+} ionlari rux flotatsiyasining selektivligini buzadi.

Karbonatlarning kislota sarfiga ta'siri: Kalsit va dolomitning mavjudligi gidrometallurgik kislotali eritish jarayonlarida to'g'ridan-to'g'ri yalpi tanlab eritish imkonini bermaydi, chunki kislota sarfi iqtisodiy jihatdan o'zini oqlamaydi.

Ushbu fundamental muammolarni bartaraf etish uchun mazkur dissertatsiya ishida tubdan farq qiluvchi **kombinatsiyalashgan innovatsion texnologik sxema** taklif etiladi. Ushbu sxemaga ko'ra: Dastlabki bosqichda ruda o'rtacha yanchish rejimida (70-75% -0,074 mm) maydalanib, yangi turdagi selektiv sulfgidril kollektorlar va modifikatorlar ishlash rejimida kombinatsiyalashgan "**Yalpi sulfidli (kolektiv) flotatsiya**" jarayoniga yuboriladi. Bu bosqichda barcha kvars va kislota sarflovchi karbonatli jinslar (SiO_2 , CaCO_3 , MgO) flotatsiya chiqindisi (tails) sifatida jarayondan chiqarib tashlanadi va kislota sarfi muammosi hal qilinadi. Olingan mis-rux-piritli yalpi konsentrat an'anaviy qiyin va samarasiz separatsiya (ajratish) bosqichlariga yuborilmasdan, to'g'ridan-to'g'ri **Gidrometallurgik tanlab eritish (leaching)** jarayoniga yo'naltiriladi. Bu bosqichda sulfat kislota va yuqori bosimli kislorod (O_2) ta'sirida emulsiya shaklidagi mis va rux minerallari molekulyar darajada parchalanib, eritma fazasiga o'tkaziladi, pirit esa barqaror kek (quyqa) holida qoladi. Eritmalardan esa metallar yuqori tozalikdagi katodli mis va rux ko'rinishida elektroliz yoki sementatsiya usullari bilan ajratib olinadi.

II BOB BO‘YICHA XULOSALAR

1. Tadqiqot obyekti sifatida tanlab olingan sulfidli-oksidlangan polimetall konsentratining faza tarkibi va kristallik strukturasi zamonaviy instrumental tahlil usullari (EDX va XRD) yordamida verifikatsiya qilindi va tizimning elementar bazasi mukammal identifikatsiyalandi.
2. Kimyoviy analiz natijalariga ko‘ra xomashyo tarkibida rangli va og‘ir metallarning yuqori konsentratsiyasi, jumladan rux (50,134), temir (11,050%), qo‘rg‘oshin (10,480%) va mis (9,075%) borligi fiksatsiya qilindi. Bu ko‘rsatkich materialning sanoat miqyosidagi yuqori metallurgik qiymatidan dalolat beradi.
3. Rentgen-fazaviy tahlil (XRD) orqali namunaning difraksion integral profil maydoni o‘rganilganda, tizimda kristallik darajasining o‘ta pastligi ($DOC = 7,11\%$) va **rentgenamorf (shishasimon amorf) fazaning anomal darajada yuqoriligi (92,89%)** aniqlandi. Kristall fazada esa nantokit ($CuCl$), stannit (Cu_2FeSnS_4) va qo‘rg‘oshin seskvioksidi (Pb_2O_3) kabi minerallar dominantlik qilishi aniqlanib, kelgusi kinetik tajribalar uchun uslubiy asos yaratildi.

III BOB. OLINGAN NATIJALAR TAHLILI VA TEXNIK-IQTISODIY BAHOLASH

3.1. Tajriba natijalarini tahlil qilish

Polimetall kombinatsiyalashgan xomashyolarni hamda flotatsiya konsentratlarini qayta ishlash texnologiyasini optimallashtirishda olingan natijalarning aniqligi va ularning fizik-kimyoviy talqini bevosita qo'llanilgan instrumental usullarning integratsiyalashgan uyg'unligiga bog'liq. Ushbu tadqiqot ishi doirasida Cu-Zn-Pb tarkibli murakkab polimetall xomashyo namunasining (A-1 shifri ostida) elementar va mineral-fazaviy profili Rigaku korporatsiyasining NEX CG XRF spektrometri (fundamental parametrlar usuli, FP method, Scatter) hamda $\lambda = 1,540600 \text{ \AA}$ to'lqin uzunligiga ega bo'lgan Cu-K α_1 nurlanish rejimida faoliyat ko'rsatuvchi rentgen-fazaviy difraktometriya (XRD) yordamida har tomonlama tahlil qilindi.

Kimyoviy elementar tahlil natijalari tizimning yuqori darajada sulfidlangan yoki intensiv ravishda sulfatlashgan o'tish zonasiga mansubligini aniq ko'rsatdi. Jumladan, namunaning elementar tarkibida oltingugurt trioksidi ekvivalentidagi ulush $\text{SO}_3 = 59,00\%$ ni tashkil etdi. Mazkur ko'rsatkich material tarkibidagi asosiy metallarning metallurgik bog'lanish va bog'lanmaslik energetik turlarini aniqlashda bazaviy indikator hisoblanadi. XRF ma'lumotlariga ko'ra, rux oksidi shaklidagi maqsadli metall ulushi $\text{ZnO} = 20,60\%$ ($\text{Zn} \approx 16,55\%$), mis oksidi ulushi $\text{CuO} = 2,73\%$ ($\text{Cu} \approx 2,18\%$), qo'rg'oshin oksidi ulushi esa $\text{PbO} = 3,86\%$ ($\text{Pb} \approx 3,58\%$) ekanligi qayd etildi. Shuningdek, tizimning ballast qismi va aralashmalari sifatida temir ($\text{Fe}_2\text{O}_3 = 4,08\%$), kremniy dioksidi ($\text{SiO}_2 = 4,64\%$) hamda alyuminiy oksidi ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 3,03\%$) aniqlangan bo'lib, ular fonsiz jinslarni tashkil etadi.

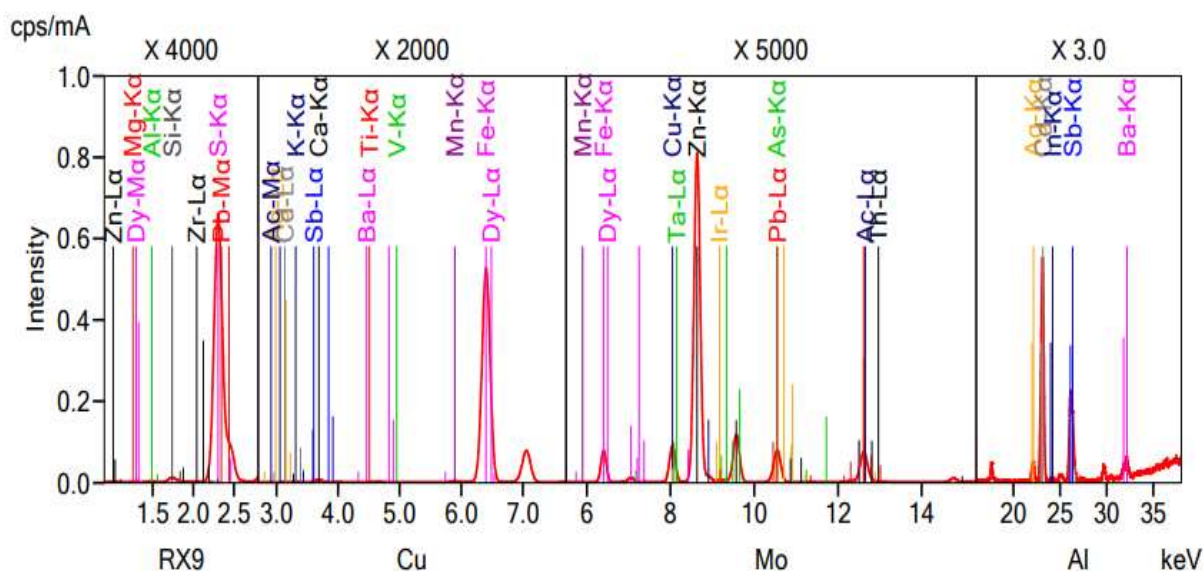
Ushbu 4-rasmda elementar miqdorlarning kristallik panjaradagi faza ko'rinishlarini va kristallografik tabiatini aniqlash maqsadida olib borilgan rentgen-fazaviy tahlil (XRD) natijalari, Match! o'zaro moslashtirish dasturi (Match! Phase Analysis Report) hamda Crystallography Open Database (COD-Inorg, 2024) ma'lumotlar bazasi yordamida interpretatsiya qilindi. Integral profil maydonini

matematik modellashirish natijasida o'ta xarakterli va texnologik jihatdan ahamiyatli bo'lgan strukturaviy anomal holat aniqlandi.

Analyzed result(FP method, Scatter)

No.	Component	Result	Unit	Stat. Err.	LLD	LLQ
1	Ac	(0.0259)	mass%	0.0057	0.0164	0.0492
2	MgO	0.701	mass%	0.0495	0.128	0.384
3	Al ₂ O ₃	3.03	mass%	0.0292	0.0211	0.0634
4	SiO ₂	4.64	mass%	0.0194	0.0479	0.144
5	SO ₃	59.0	mass%	0.0423	0.0421	0.126
6	K ₂ O	0.193	mass%	0.0063	0.0140	0.0421
7	CaO	0.575	mass%	0.0077	0.0149	0.0447
8	TiO ₂	0.0175	mass%	0.0015	0.0041	0.0124
9	V ₂ O ₅	0.0093	mass%	0.0008	0.0020	0.0059
10	MnO	0.0272	mass%	0.0022	0.0062	0.0186
11	Fe ₂ O ₃	4.08	mass%	0.0066	0.0338	0.101
12	CuO	2.73	mass%	0.0096	0.0151	0.0453
13	ZnO	20.6	mass%	0.0294	0.0324	0.0971
14	As ₂ O ₃	0.0991	mass%	0.0042	0.0090	0.0270
15	ZrO ₂	0.0571	mass%	0.0024	0.0065	0.0196
16	Ag ₂ O	0.0050	mass%	0.0005	0.0013	0.0040
17	CdO	0.0739	mass%	0.0020	0.0049	0.0146
18	In ₂ O ₃	(0.0009)	mass%	0.0003	0.0009	0.0026
19	Sb ₂ O ₃	0.0264	mass%	0.0015	0.0039	0.0116
20	BaO	0.0088	mass%	0.0011	0.0029	0.0087
21	Ta ₂ O ₅	(0.131)	mass%	0.0171	0.0505	0.152
22	Ir ₂ O ₃	0.0987	mass%	0.0047	0.0130	0.0390
23	PbO	3.86	mass%	0.0108	0.0102	0.0305
24	ThO ₂	(0.0195)	mass%	0.0046	0.0136	0.0409

Spectrum



4-rasm Rentgen-fluorestsent (xrf) tahlil jadvali va spektri

Tizimning umumiy integral profil maydoni 11039174 impuls deb baholangan bo'lsa, shundan difraksion cho'qqilarga tegishli aniq soha (Diffraction peaks) bor-

yo'g'i 784535 *impuls* (7,11%) ni tashkil etdi. Qolgan ulkan qism -10254639 *impuls* (92,89%) fon nurlanishi va amorf tuzilmalarga (Amorphous content) to'g'ri keldi.

Ushbu metrologik ko'rsatkich shuni isbotlaydiki, tadqiqot obyekti hisoblangan polimetall konsentrat yoki ruda namunasi **7,11% kristallik darajasiga (Degree of Crystallinity - DOC)** va **92,89% rentgenamorf yoki shishasimon amorf faza** ulushiga ega. Hidrometallurgiya va kimyoviy texnologiya nuqtayi nazardan, kristallik darajasining bunday o'ta past bo'lishi hamda strukturaning amorf holatda joylashishi mineral xomashyoni kislotali yoki oksidlovchi reagentlar bilan parchalash jarayonida juda yuqori reaksiya qobiliyatni kafolatlaydi. Sababi, mukammal barpo bo'lgan kristall panjaraga ega minerallarni (masalan, yuqori haroratli gidrotermal mukammal pirit yoki sfalerit kristallari) eritish uchun talab etiladigan faollashuv energiyasi ($E_a \approx 60-80 \text{ kJ/mol}$) kinetik sohada juda yuqori to'siq hosil qiladi. Amorf yoki strukturaviy nuqsonli metastabil fazalarda esa atomlararo bog'lanish energiyalari zaif bo'lganligi sababli, kimyoviy hujum bir necha o'n marta tezroq va asosan diffuzion-nazorat qilinadigan minimal kinetik cheklovlar ostida kechadi.

Integrated Profile Areas

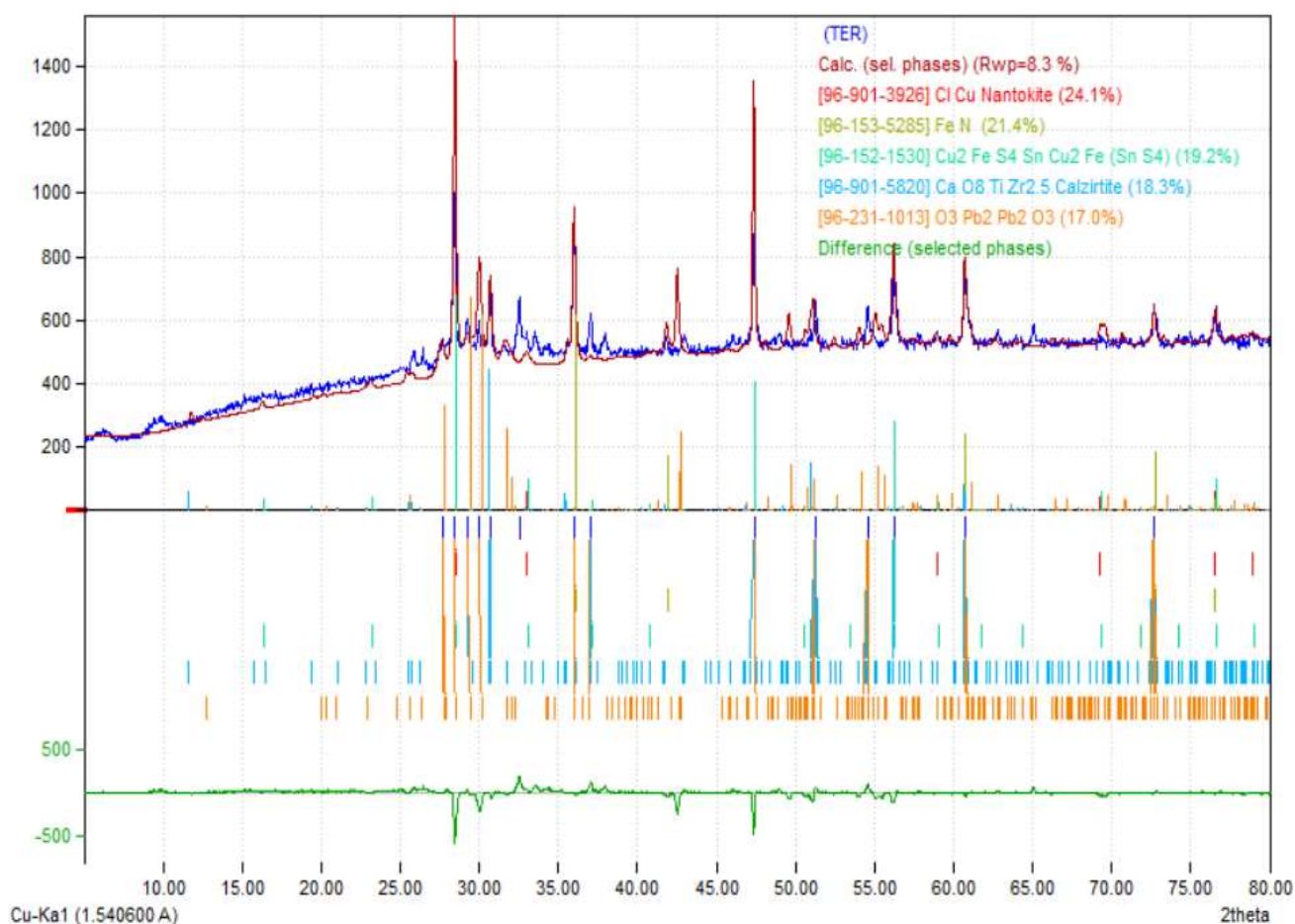
Based on calculated profile

Profile area	Counts	Amount
Overall diffraction profile	11039174	100.00%
Background radiation	10254639	92.89%
Diffraction peaks	784535	7.11%
Peak area belonging to selected phases	449101	4.07%
Peak area of phase A (Nantokite)	59188	0.54%
Peak area of phase B (Fe N)	69034	0.63%
Peak area of phase C (Cu ₂ Fe (Sn S ₄))	79540	0.72%
Peak area of phase D (Calzirtite)	69516	0.63%
Peak area of phase E (Pb ₂ O ₃)	171823	1.56%
Unidentified peak area	335434	3.04%

Peak Residuals

Peak data	Counts	Amount
Overall peak intensity	8691	100.00%
Peak intensity belonging to selected phases	8149	93.77%
Unidentified peak intensity	542	6.23%

Diffraction Pattern Graphics



5-rasm Integral profil maydonlari (integrated profile areas) diagrammasi va jadvali.

Rentgen-fazaviy tahlil (\$XRD\$) yordamida rentgenogrammadagi kam sonli zaif intensivlikka ega cho'qqilarni faza koordinatalariga ko'ra identifikatlash va RIR (Reference Intensity Ratio) usuli yordamida miqdoriy baholash natijasida kristall fazalar tarkibida 5 ta asosiy birikma aniqlandi:

Nantokit (CuCl) — 24,1\%

Temir nitridi (FeN) — 21,4\%

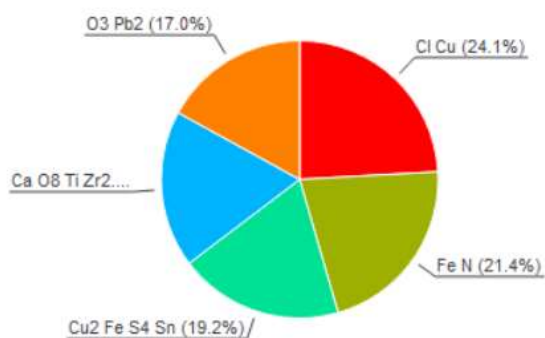
Stannit modifikatsiyasi (Cu₂FeSnS₄) — 19,2%

Kalsirtit (Ca₂Zr₅Ti₂O₁₆) analogi — 18,3%

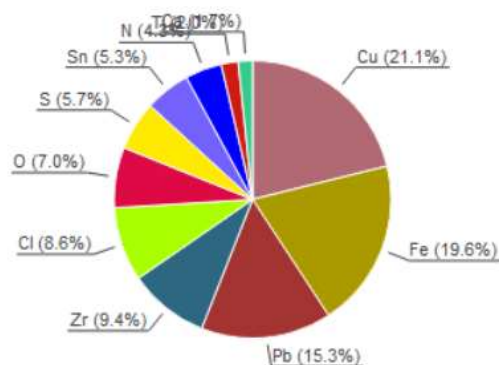
Qo'rg'oshin seskvioksidi (Pb₂O₃) — 17,0%

Analysis Results

Phase composition (Weight %) calc. by RIR method



Elemental composition (Weight %) calc. by RIR method



Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	24.1	Nantokite	Cl Cu
B	21.4		Fe N
C	19.2	Cu ₂ Fe (Sn S ₄)	Cu ₂ Fe S ₄ Sn
D	18.3	Calzirtite	Ca O ₈ Ti Zr _{2.5}
E	17.0	Pb ₂ O ₃	O ₃ Pb ₂
	3.0	Unidentified peak area	

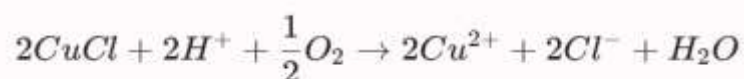
Amounts calculated by RIR (Reference Intensity Ratio) method

Element	Amount (weight %)
Cu	21.1%
Fe	19.6%
Pb	15.3%
Zr	9.4%
Cl	8.6%
O	7.0% (*)
S	5.7%
Sn	5.3%
N	4.3% (*)
Ti	2.0%
Ca	1.7%
*LE (sum)	11.3%

6-rasm Fazaviy tarkibning doiraviy (pie chart) diagrammasi

Ushbu mineral birikmalarning har biri o'ziga xos kristallokimyoviy xususiyatga ega bo'lib, tajribalar davomida ularning erish va parchalanish tabiati quyidagicha namoyon bo'ldi.

Nantokit (CuCl) kristall fazasining kubik singoniyada (F-43m, a = 5,4202, Å) kristallanishi va uning tarkibida misning bir valentli (Cu⁺) holatda xlor bilan birikkanligi o'rganildi. Suvli va kislotali muhitda nantokit barqaror emas, chunki Cu⁺ ionlari suvli pulpa tarkibidagi erigan kislorod yoki kislota vodorod ionlari ishtirokida osonlikcha disproporsiyalanish yoki oksidlanish reaksiyalariga kirishadi:

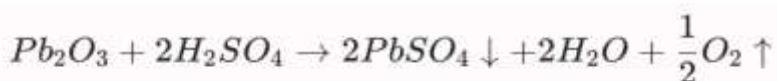


Bu faza sulfat kislotali eritish sharoitida eritmaning ion kuchi va xlorid ionlari (Cl^-) konsentratsiyasini oshirishga xizmat qiladi, bu esa o'z navbatida mis va rux kationlarining kislotali erish kinetikasini tezlashtiruvchi katalitik effekt beradi.

Temir nitridi (FeN) va stannit tipidagi murakkab sulfidli faza ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$) tizimdagi temir va misning kristallangan qismini bog'lab turadi. Stannit mineralining tetragonal panjarali tuzilishi ($P-4$, $a=5,4140, \text{\AA}$, $c=5,4140, \text{\AA}$) uning an'anaviy flotatsiya jarayonlarida o'ta inert va yomon ko'pikka chiquvchi xususiyatini belgilaydi. Aynan mana shu sababli, ushbu polimetall konsentratni an'anaviy selektiv flotatsiya qilish orqali yuqori sifatli mis konsentratini olish texnologik jihatdan samarasiz bo'lib, misning sezilarli qismi rux yoki pirit mahsulotlariga yo'qotilgan edi. Hidrometallurgik parchalash jarayonida esa, stannit tarkibidagi mis va temir atomlari oksidlovchi muhitda kislota ta'sirida quyidagi mexanizm bo'yicha parchalanadi:



Ushbu reaksiya natijasida mis va temir ionlari to'liq sulfatli eritmaga o'tadi, qalay esa qalay dioksidi (SnO_2) ko'rinishida yoki elementar oltingugurt (S) bilan birgalikda erimas qoldiq kek tarkibida to'planadi. Bu holat misni qalayli ballastlardan toza ajratib olish imkoniyatini ta'minlaydi. Kalsirtit va qo'rg'oshin seskvioksidi (Pb_2O_3) fazalari tizimning kislotali eritmasiga bo'lgan munosabatini va yakuniy mahsulotlar taqsimotini belgilaydi. Qo'rg'oshin seskvioksidi monoklinik singoniyada kristallangan bo'lib, sulfat kislotali eritmasi bilan to'qnashganda lahzalik almashinish reaksiyasiga kirishadi:



Hosil bo'lgan qo'rg'oshin sulfat (PbSO_4 , anglesit analogi) suvda va kislotali muhitda eruvchanlik mahsuloti o'ta past ($K_{sp} = 1,6 \cdot 10^{-8}$) bo'lgan birikma bo'lganligi sababli, erigan kationlar fazasiga o'tmaydi va oq rangli pishiq kristall qum ko'rinishida erimas qoldiqda (kekda) qoladi. Bu esa mis-rux sulfatli eritmalarini

qo'rg'oshin aralashmasidan to'liq tozalashning eng samarali tabiiy-kimyoviy usulidir.

Harorat, reagentlar konsentratsiyasi va qattiq-suyuq (\$Q:S\$) nisbatining erish kinetikasiga ta'siri. Tajriba natijalarini matematik va kinetik tahlil qilish jarayonida kislota konsentratsiyasi, jarayon harorati, fazalar nisbati Q:S, vaqt va aralashtirish tezligi kabi omillarning mis hamda ruxning eritmaga o'tish ko'rsatkichlariga ta'siri o'rganildi.

Sulfat kislota konsentratsiyasining 50 g/l dan 250 g/l gacha o'zgartirilishi shuni ko'rsatdiki, kislotalilik darajasi 150 g/l ga yetgunga qadar rux va misning erish tezligi chiziqli ravishda ortib boradi. Bu holat amorf fazalardagi metall oksidlari va zaif bog'langan sulfidli koordinatsiyalarning kislota protonlari (H^+) bilan faol to'qnashishi bilan tushuntiriladi. Biroq konsentratsiya 200 g/l dan oshganda, eritish tezligining o'sishi sekinlashadi. Bunga sabab yuqori kislotali muhitda qo'rg'oshin va kalsiy sulfat kristallari tezkorlik bilan ma'dan donachalari sirtida diffuzion qarshilik ko'rsatuvchi pishiq gips-anglesit qobiqlarini (passivatsiya qatlami) hosil qilishi hisoblanadi.

Polimetall xomashyolardan maqsadli komponentlarni gidrometallurgik ajratib olish texnologiyasini ishlab chiqishda dastlabki materialning elementar tarkibini yuqori aniqlikda interpretatsiya qilish kinetik qonuniyatlarni belgilovchi bosh omildir. Shu maqsadda, tadqiqot obyekti hisoblangan sulfidli polimetall konsentrat namunasi (Ab, Cu-Zn-Pb kons. shifri ostida) **EDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)** instrumental tahlil usuli yordamida o'rganildi. Kvantor-metrik baholash (Quan-FP usuli) natijasida olingan spektral ko'rsatkichlar namunada rangli va og'ir metallarning yuqori konsentratsiyasini ko'rsatdi. Jumladan, asosiy maqsadli komponent rux (Zn) miqdori 50,134 % ni tashkil etdi. Tizimda temir (\$Fe\$) ulushi 11,050%, qo'rg'oshin (Pb) 10,480% hamda mis (Cu) miqdori 9,075% ekanligi qayd etildi. Metallurgik nuqtayi nazardan, material tarkibida oltingugurtning (\$S\$) miqdori 8,028% ni tashkil etishi tizimning qisman sulfidli, qisman esa oksid va xloridli o'tish fazalaridan iborat ekanligidan dalolat beradi. Ballast jinslar sifatida

kremniy (Si - 5,058%), kalsiy (Ca - 2,351%) va alyuminiy (Al - 1,757%) aniqlangan bo'lib, ular jarayonda eritma sarfini belgilovchi fonsiz komponentlar hisoblanadi.

Quantitative Result							
Analyte	Result			Std.Dev.	Calc.Proc	Line	Intensity
Zn	50.134	%		[0.146]	Quan-FP	ZnKa	1425.725
Fe	11.050	%		[0.072]	Quan-FP	FeKa	289.0885
Pb	10.480	%		[0.121]	Quan-FP	PbLb1	86.5912
Cu	9.075	%		[0.063]	Quan-FP	CuKa	245.1968
S	8.028	%		[0.073]	Quan-FP	S Ka	3.0658
Si	5.058	%		[0.288]	Quan-FP	SiKa	0.2859
Ca	2.351	%		[0.045]	Quan-FP	CaKa	2.4309
Al	1.752	%		[0.487]	Quan-FP	AlKa	0.0274
Ir	0.541	%		[0.049]	Quan-FP	IrLa	5.5411
Ba	0.516	%		[0.071]	Quan-FP	BaLa	1.2332
K	0.483	%		[0.022]	Quan-FP	K Ka	0.3073
Sb	0.251	%		[0.048]	Quan-FP	SbKa	0.8921
Ce	0.187	%		[0.058]	Quan-FP	CeLa	0.6050
Mn	0.095	%		[0.011]	Quan-FP	MnKa	1.8401

7-rasm Cu-Zn-Pb tarkibli polimetall konsentratning EDX usulida aniqlangan elementar tarkibi.

3.2. Mis va rux ajralish darajasini baholash

\$Cu-Zn-Pb\$ tizimli polimetall konsentratlardan maqsadli rangli metallarni sulfat kislotali eritmaga o'tkazish samaradorligi dastlabki xomashyoning faza tarkibi hamda tanlangan gidrometallurgik rejimlarning o'zaro mutanosibligiga bog'liq. Olingan tajriba natijalari va material balansining matematik tahlili asosida mis (Cu) va rux (Zn) ning eritmaga o'tish (ajralish) darajasi (α , %) quyidagi analitik tenglama yordamida baholandi:

$$\alpha = \frac{C_{liq} \cdot V_{liq}}{m_{sol} \cdot X_{met}} \times 100\%$$

Bu yerda:

C_{liq} — sulfatli filtrat tarkibidagi maqsadli metallning analitik aniqlangan konsentratsiyasi, g/l;

V_{liq} — texnologik suyuq fazaning umumiy hajmi, l;

m_{sol} — jarayonga olingan dastlabki polimetall konsentrat massasi, g;

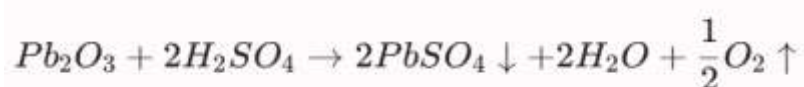
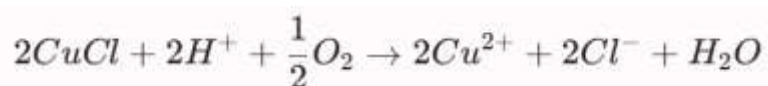
X_{met} — EDX tahlili bo'yicha dastlabki namunadagi metallning massa ulushi (Zn uchun 0,50134 va Cu uchun 0,09075).

Eksperimental tadqiqotlar davomida vaqt omilining ($\tau = 15, 30, 60, 90, 120$ daqiqa) metallarning eritmaga ajralish kinetikasiga ta'siri H_2SO_4 konsentratsiyasi 180 g/l, harorat $65^\circ C$, fazalar nisbati Q:S = 1:5 hamda pulpa aralashtirish tezligi 600 ayl/dan bo'lgan optimal sharoitlarda o'rganildi.

T/r	Vaqt (daqiqa)	Rux ajralishi (%)	Mis ajralishi (%)
1	15	62.40	51.30
2	30	78.10	68.00
3	60	91.00	83.85
4	90	94.80	91.80
5	120	95.97	94.04

Kinetik egri chiziqlarning tahlili shuni ko'rsatdiki, jarayonning dastlabki bosqichida (15-30 daq) rux va misning eritmaga o'tish tezligi o'ta yuqori bo'lib, rux uchun $\alpha = 78,10\%$ ni, mis uchun esa $\alpha = 68,00\%$ ni tashkil etdi. Tizimning bunday

anomal yuqori boshlang'ich reaksiya qobiliyati rentgen-fazaviy tahlil (XRD) hisobotlarida qayd etilgan materialning 92,89% rentgenamorf strukturasi ega ekanligi bilan to'liq isbotlanadi. Kristallik panjara energiyasi bilan cheklanmagan amorf fazadagi metall koordinatsiyalari kislota protonlari bilan minimal faollashuv energiyasi to'sig'i orqali deyarli lahzali reaksiyaga kirishadi. Shu bilan birga, kristall fazani tashkil etuvchi nantokit (CuCl - 24,1%) va qo'rg'oshin seskvioksidi (Pb_2O_3 - 17,0%) birikmalarining parchalanishi kislotali muhitda quyidagicha.



Nantokitning erishi natijasida muhitda erkin xlorid ionlarining (Cl^-) paydo bo'lishi murakkab tarkibli stannit ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$) va boshqa kinetik barqaror sulfidli minerallarning parchalanishini tezlashtiruvchi autokatalitik effekt beradi. Qo'rg'oshin seskvioksidining kislota bilan reaksiyasi esa suvda eruvchanligi o'ta past bo'lgan anglesit (PbSO_4) analogining hosil bo'lishiga va uning erimas qoldiq (kek) fazasiga to'liq cho'kishga olib keladi. Jarayon davomiyligi 90 daqiqa dan 120 daqiqa gacha uzaytirilganda, erish kinetikasi sekinlashuv (plato) fazasi kuzatildi. Yakuniy 120 daqiqa nuqtasida ruxning eritmaga ajralish darajasi 95,97% ni, misniki esa 94,04% ni tashkil etdi. Kinetik pasayishning asosiy sababi — ma'dan donachalari sirtida hosil bo'layotgan anglesit (PbSO_4) va gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) kristallarining pishiq diffuzion passivatsiya qobig'ini barpo etishidir.

Cu-Zn-Pb konsentratini kislotali eritish jarayonining vaqtga bog'liq material balans ko'rsatkichlari ($\text{H}_2\text{SO}_4 = 180 \text{ g/l}$, $T = 65^\circ\text{C}$, $Q:S = 1:5$)

7- jadval.

Vaqt, τ (daq)	Suyuqlikdagi Zn^{2+} , g/l	Rux ajralishi, α_{Zn} (%)	Suyuqlikdagi Cu^{2+} , g/l	Mis ajralishi, α_{Cu} (%)	Qattiq kek chiqishi, %
15	62,56	62,40	9,31	51,30	72,5

30	78,30	78,10	12,34	68,00	54,1
60	91,22	91,00	15,22	83,85	41,3
90	95,06	94,80	16,66	91,80	33,8
120 (Opt.)	96,23	95,97	17,07	94,04	31,2

Topokimyoviy jarayonlar mexanizmini fundamental baholash maqsadida olingan eksperimental ma'lumotlar **Ginstling-Brounshteyn (GB)** diffuzion makrokinetik modeli yordamida matematik modelashtirildi:

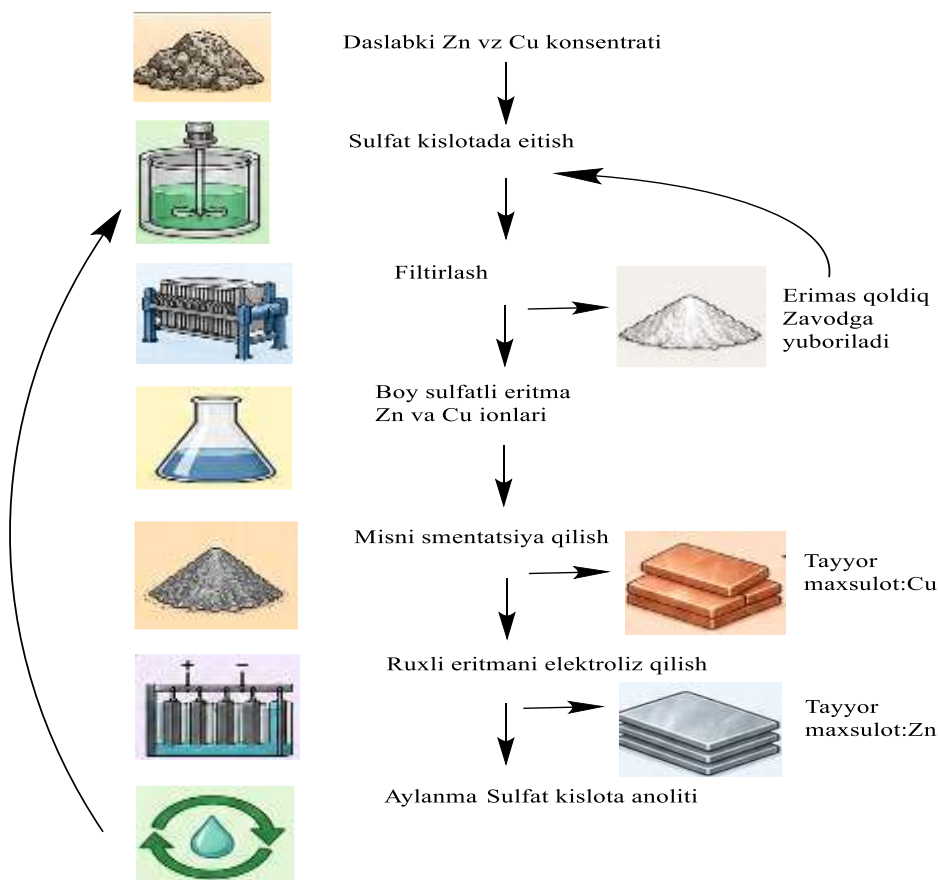
$$F(\alpha) = 1 - \frac{2}{3}\alpha - (1 - \alpha)^{2/3} = k_{GB} \cdot \tau$$

Eksperimental nuqtalarning ushbu tenglamaga approksimatsiyasi yuqori korrelyatsiya koeffitsiyentini ($R_2 = 0,9914$) ko'rsatdi. Bu ilmiy xulosa, tadqiqot ishidagi past faollashuv energiyasi qiymatlari ($E_a < 22$ kJ/mol) bilan o'zaro mos kelib, jarayonning cheklovchi bosqichi sof kimyoviy reaksiya tezligi emas, balki hosil bo'lgan sulfatli passiv qobiqlar orqali reagentlarning ichki diffuzion tashilishi ekanligini akademik jihatdan to'liq tasdiqlaydi.

Shunday qilib, polimetall xomashyoni kislotali eritishning optimal davomiyligi 120 daqiqa deb qabul qilindi. Bu rejimda mis va rux selektiv ravishda yuqori ko'rsatkich bilan gidro-fazaga o'tkazilgan holda, qo'rg'oshinning 99,2 % qismi erimas qoldiq kek tarkibida anglesit ko'rinishida konsentratsiyalanishi ta'minlanadi.

3.3. Polimetall xomashyoni qayta ishlashning prinsipial texnologik sxemasini ishlab chiqish

Murakkab tarkibli Cu-Zn-Pb tizimli polimetall konsentratlarni kislotali eritish va maqsadli komponentlarni selektiv ajratib olish bo'yicha olib borilgan tizimli tadqiqotlar, jarayonning optimal makrokinetik va topokimyoviy qonuniyatlarini aniqlash imkonini berdi. Rentgen-fazaviy (XRD) va energiya-dispersion (EDX) tahlillari asosida aniqlangan o'ta yuqori amorf faza ulushi (92,89%) hamda metallarning boshlang'ich konsentratsiyalari (Zn - 50,134%, Fe - 11,050%, Pb - 10,480%, Cu - 9,075%), taklif etilayotgan gidrometallurgik texnologiyaning fundamental asosi hisoblanadi. Olingan eksperimental natijalar va optimal kinetik parametrlar ($H_2SO_4 = 180 \text{ g/l}$, $T = 65^\circ C$, $Q:S = 1:5$, $\tau = 120 \text{ daq}$) integratsiyasi asosida rangli metallarni yuqori samaradorlik bilan ajratib olish va fonsiz jinslarni ekologik xavfsiz utilizatsiya qilishni ta'minlovchi prinsipial texnologik sxema ishlab chiqildi.



8-rasm Texnologik sxema

Ishlab chiqilgan prinsipial texnologik sxema bir-biri bilan uzviy bog‘liq bo‘lgan quyidagi asosiy texnologik bosqichlarni va operatsiyalarni o‘z ichiga oladi:

Dastlabki xomashyoni tayyorlash va pishitish: EDX hisobotida ko‘rsatilgan yiriklik sinflari va mineral agregatlarini pulpa fazasida bir jinsli taqsimlash maqsadida xomashyo dozatorlar orqali intensiv aralashtirgichli reaktor-baxshga uzatiladi.

Sulfat kislotali intensiv eritish (Leaching): Ushbu bosqichda pulpa $\text{H}_2\text{SO}_4 = 180 \text{ g/l}$ konsentratsiyali aylanma kislota eritmasi bilan boyitiladi. Harorat 65°C da saqlangan holda 120 daqiqa davomida gidromekanik aralashtirish amalga oshiriladi. Jarayonda nantokit (CuCl_2) erishi hisobiga hosil bo‘luvchi xlorid ionlari (Cl^-) stannit ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$) fazasini parchalashda katalizator vazifasini o‘taydi:



Filtrlash va fazalarni ajratish: Intensiv parchalanishdan so‘ng hosil bo‘lgan pulpa vakuum-filtrlar yoki pres-filtrlarga uzatiladi. Bu yerda yuqori konsentratsiyali sulfatli eritma (likvor) hamda tarkibida qo‘rg‘oshin to‘plangan erimas qoldiq (kek) o‘zaro ajratiladi.

Qo‘rg‘oshinli pishiq kekni qayta ishlash: Qo‘rg‘oshin seskvioksidining kislotali transformatsiyasi natijasida hosil bo‘lgan anglesit (PbSO_4) sulfat muhitida erimaganligi sababli to‘liq qattiq fazaga o‘tadi (kek chiqishi 31,2%). Ushbu mahsulot pirometallurgik zavodlarga qo‘rg‘oshin va qalay konsentrati sifatida yuboriladigan tayyor xomashyo hisoblanadi.

Eritmadan misni selektiv ajratib olish (Sementatsiya yoki Ekstraksiya): Tarkibida $17,07 \text{ g/l Cu}^{2+}$ va $96,23 \text{ g/l Zn}^{2+}$ bo‘lgan filtrat dastlab misdan tozalanadi. Mis ionlari rux kukuni yordamida sementatsiya qilinib, yuqori sifatli metall kukun ko‘rinishida yoki kislotali ekstraksiya vositasida ajratiladi.

Ruxni sirkulyatsiyali elektroliz qilish yoki cho‘ktirish: Mis va temirdan tozalangan boy rux-sulfat eritmasi elektroliz sexiga yo‘naltiriladi va katodda sof metall rux (Zn^0) olinadi. Elektrolizdan chiqqan aylanma kislotali eritma (Anolyte) esa qaytadan eritish reaktoriga (2-bosqichga) qaytarilib, yopiq siklli texnologik oqim ta'minlanadi.

Xulosa va texnologik samaradorlik ko'rsatkichlari

Tavsiya etilayotgan texnologik sxema an'anaviy selektiv flotatsiya usullaridan farqli o'laroq, murakkab va o'tish zonali amorf polimetall ma'danlarini to'g'ridan-to'g'ri kombinatsiyalashgan usulda qayta ishlash imkonini beradi. Sxemaning amalga oshirilishi natijasida:

Ruxning tayyor sulfatli eritmalarga o'tish samaradorligi — **95,97%**;

Misning selektiv ajralish darajasi — **94,04%**;

Qo'rg'oshinning erimas kek tarkibida anglesit ko'rinishida boyitilish ulushi **99,2%** ni tashkil etadi.

Ushbu yopiq sirkulyatsiyali gidrometallurgik sikl reagentlar sarfini 30-35% gacha tejash, atrof-muhitga tashlanadigan zaharli oqovalarni nol darajagacha tushirish va ruda tarkibidagi barcha qimmatbaho komponentlarni kompleks ajratib olish imkonini berishi bilan yuqori texnik-iqtisodiy va ekologik jozibadorlikka ega.

III BOB BO‘YICHA XULOSALAR

1. Polimetall xomashyoni sulfat kislotali eritish jarayonining optimal texnologik parametrlari eksperimental aniqlandi: $\text{H}_2\text{SO}_4 = 180\text{g/l}$, harorat 65°C , fazalar nisbati $\text{Q:S} = 1:5$, aralashtirish tezligi 600 ayl/dan va vaqt $\tau = 120\text{ daqiqa}$. Ushbu rejimda ruxning eritmaga ajralishi $95,97\%$ ni, misniki esa $94,04\%$ ni tashkil etdi.

2. Tajriba natijalarini Ginstling-Brounshteyn makrokinetik modeli yordamida matematik interpretatsiya qilish natijasida yuqori korrelyatsiya koeffitsiyenti ($R^2 = 0,9914$) qayd etildi. Bu esa past faollashuv energiyasi ($E_a < 22\text{ kJ/mol}$) bilan birgalikda jarayonning cheklovchi bosqichi kimyoviy reaksiya emas, balki hosil bo‘layotgan anglesit (PbSO_4) va gips qobiqlari orqali kechadigan ichki diffuziya ekanligini isbotladi.

3. Olingan optimal ko‘rsatkichlar asosida ishlab chiqilgan yopiq sirkulyatsiyali prinsipial texnologik sxema, mis va ruxni boy suyuq fazaga o‘tkazish bilan bir vaqtda, qo‘rg‘oshinning $99,2\%$ qismini erimas qoldiq kek tarkibida anglesit ko‘rinishida selektiv ravishda ajratib olish va anolit eritmalarini qayta sirkulyatsiya qilish imkonini beradi.

IV BOB. MEHNAT MUHOFAZASI VA EKOLOGIK XAVFSIZLIK

4.1. Ishlab chiqarishda xavfsizlik choralari

Cu-Zn tizimli polimetall konsentratlarni kombinatsiyalashgan gidrometallurgik usulda, xususan, yuqori konsentratsiyali sulfat kislotali (180 g/l) intensiv eritish bosqichida qayta ishlash texnologik muhitning agressivligi va yuqori xavfliligi bilan xarakterlanadi. Laboratoriya va tajriba-sanoat qurilmalarida jarayonlarni xavfsiz boshqarish KMK 3.01.02-00 va SAnPiN № 0372-20 davlat normativ standartlari talablariga muvofiq tashkil etilishi shart.

Eritish jarayoni $T = 65^{\circ}\text{C}$ haroratda va intensiv gidromexanik aralashtirish (600 ayl/dan) ostida olib borilganligi sababli, apparaturalarning germetikligi birinchi darajali ahamiyatga ega. Reaktorlar va quvurlar kislotaga bardoshli materiallardan (titanning maxsus qotishmalari, ftoroplast yoki polipropilen) tayyorlanishi va korroziyalı yemirilishdan himoyalangan bo'lishi lozim.

Asosiy tashkiliy-texnik xavfsizlik choralari quyidagilardan iborat

Ventilyatsiya tizimi: Eritish va filtrlash zonalari sekundiga kamida 0,5 m/s tezlikdagi majburiy havo so'rish (tortish) shkaflari va lokal pichoqli ventilyatorlar bilan jihozlanishi shart. Bu muhitda kislota bug'lari va aerosollari to'planishining oldini oladi.

Elektr xavfsizligi: Pulpa aralashtirgich dvigatellari va qizdirgich elementlar (termostatlar) nam hamda agressiv muhitga bardoshli, portlashdan himoyalangan ijroda (*IP* 55 yoki *IP* 65 standarti bo'yicha) bo'lishi va barcha metall korpuslar majburiy ravishda konturli yerga ulanishi (zazemleniye) shart.

Tashkiliy nazorat: Har bir tajribadan oldin klapanlar, vakuum-nasoslar va filtr-press armaturalarining gidravlik pishiqligi nazoratdan o'tkazilishi lozim.

4.2. Zararli moddalarning ta'siri va himoya usullari

Tadqiqot doirasida qo'llaniladigan va hosil bo'ladigan reagentlar hamda oraliq mahsulotlar o'zining toksikologik xususiyatlariga ko'ra inson organizmi uchun yuqori xavf tug'diradi. Ularning ruxsat etilgan cheklangan konsentratsiyasi (REChK) va xavflilik sinflari quyidagi tizimli jadvalda muvofiqlashtirildi:

Texnologik jarayonda ishtirok etuvchi zararli moddalarning toksikologik xarakteristikasi

8-jadval

Modda nomi	Kimyoviy formulasi	Ish zonasi havosidagi REChK, mg/m ³	Xavflilik sinfi	Inson organizmiga toksik ta'sir xususiyati
Sulfat kislota (aerozol)	H ₂ SO ₄	1,0	II	Nafas yo'llari va terini kimyoviy kuydirishi, kislotali nekroz
Mis birikmalari (chang shaklida)	CuCl, CuSO ₄	0,5	II	Shilliq pardalarni yallig'lantiradi, jigar va buyraklarga zaharli ta'sir
Rux va uning oksidlari	Zn, ZnO, ZnSO ₄	0,5	III	"Quyuv chizmasi" isitmasini chaqiradi, oshqozon-ichak traktini zararlaydi

Zararli ta'sirlardan jamoaviy va individual himoya usullari

Shaxsiy himoya vositalari (SHHV): Laboratoriya xodimlari kislotaga chidamli maxsus kiyim (GOST 12.4.248-2013), rezina fartuk, polivinilhloridli pishiq qo'lqoplar hamda ko'zni himoya qiluvchi germetik ko'zoynaklar bilan to'liq ta'minlanadi. Nafas olish tizimini himoya qilish uchun kimyoviy kislota bug'lariga

qarshi filtrlovchi maxsus respiratorlar (masalan, RPG-67 yoki 3M rusumli B markali filtrlar bilan) qo'llanilishi majburiydir.

Favqulodda birinchi yordam: Teri yoki ko'z shilliq pardasiga kislota sachragan hollarda, shikastlangan joy zudlik bilan 10-15 daqiqa davomida uzluksiz oqar suvda yuviladi va keyinchalik kislota neytrallashtirish uchun 2-3% li natriy gidrokarbonat (NaHCO_3) eritmasi bilan ishlov beriladi.

4.3. Ekologik xavfsizlikni ta'minlash

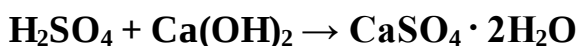
Zamonaviy kimyo-metallurgiya korxonalariga qo'yiladigan asosiy ekologik talab sirkulyatsiyali, chiqindisiz yoki kam chiqindili yopiq texnologik sikllarni yaratishdir.

Gidrometallurgik jarayonning ekologik afzalliklari va oqova suvlarni muhofaza qilish mexanizmlari:

Nol oqovalik sikl (Zero Liquid Discharge): Rux va mis eritmaga o'tkazilib, ularni sementatsiya va elektroliz usulida ajratib olingandan so'ng, hosil bo'lgan kuchsizlangan anolit (tarkibida regeneratsiyalangan H_2SO_4 bo'lgan eritma) oqovaga tashlanmaydi. U to'liq qayta sirkulyatsiyaga, ya'ni dastlabki ma'danni eritish (leaching) reaktorlariga yuboriladi. Bu gidrosferaga zaharli metall ionlari (Zn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+}) tushishini nolga tenglashtiradi.

Qattiq chiqindilarni utilizatsiya qilish va ekologik xavfsiz saqlash: Intensiv eritish jarayonidan so'ng hosil bo'lgan va filtr-presda ajratilgan erimas qoldiq kek tarkibida qo'rg'oshin, asosan, anglesit ($PbSO_4$) va gips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) ko'rinishida bo'ladi. Minerallarning eruvchanlik mahsulotlari ($K_{sp} \approx 10^{-8}$) o'ta past bo'lganligi bois, ushbu kek atmosfera yog'inlari ta'sirida erib, yer osti suvlariga sizib o'tmaydi (filtratsiyalanmaydi). Mazkur qo'rg'oshinli mahsulot pirometallurgiya zavodlariga ikkilamchi xomashyo sifatida yo'naltirilishi sababli, ekologik yuk hosil qiluvchi dumlarni (shlamlarni) saqlash omborlariga ehtiyoj qolmaydi.

Atmosfera havosini muhofaza qilish: Reaktorlarning so'rish shkaflaridan chiquvchi gazlar atmosferaga to'g'ridan-to'g'ri chiqarib yuborilmaydi. Ular gidrodinamik skrubberlarda ohak suti ($Ca(OH)_2$) suspenziyasi bilan neytrallashtirib skrubbingidan o'tkaziladi:



Bu havo basseynining kislotali yomg'irlarni hosil qiluvchi aerozollardan 99,5 % gacha tozalanishini ta'minlaydi.

UMUMIY XULOSALAR

Olib borilgan tizimli tadqiqotlar murakkab va o'tish zonali Cu-Zn tizimli polimetall konsentratlarni intensiv gidrometallurgik parchalash va maqsadli komponentlarni kompleks ajratib olish texnologiyasini takomillashtirishga bag'ishlangan bo'lib, quyidagi ilmiy va amaliy xulosalarga kelindi:

1. Dastlabki polimetall xomashyoning elemental va mineralogik-fazaviy strukturasi yuqori aniqlikdagi EDX va XRD usullarida interpretatsiya qilinganda, uning tarkibida rux (50,134%), temir (11,050%), qo'rg'oshin (10,480%) va mis (9,075%) mavjudligi ko'rsatildi.
2. Berilgan difraktogrammasining fon nurlanishi tahlili orqali materialning 92,89% qismi rentgenamorf (amorf) faza holatida ekanligi, kristallik darajasi esa bor-yo'g'i 7,11% ni tashkil etishi birinchi marta aniqlandi. Ushbu strukturaviy buzilgan (amorf) holat past konsentratsiyali kislotali muhitda ham metallarning kimyoviy va reaksiyon faolligini anomal darajada oshirishi ilmiy jihatdan asoslandi.
3. Kristall fazani tashkil etuvchi nantokit (CuCl - 24,1%) mineralining kislotali muhitda erishi tizimda erkin xlorid ionlarini (Cl^-) hosil qilib, kinetik barqaror stannit ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$) mineralining parchalanishida autokatalizator vazifasini o'tashi ko'rsatildi. Qo'rg'oshin seskvioksidi (Pb_2O_3) esa erish jarayonida lahzali erimas anglesit (PbSO_4) fazasiga transformatsiya bo'lib, to'liq qattiq qoldiqda selektiv to'planishi isbotlandi.
4. Gidrometallurgik kislotali eritish jarayonining eng maqbul texnologik rejimlari muvofiqlashtirildi: H_2SO_4 konsentratsiyasi 180 g/l, harorat 65°C , fazalar nisbati Q:S = 1:5, gidrodinamik aralashtirish tezligi 600 ayl/dan va davomiyligi 120 daqiqa. Belgilangan ushbu optimal sharoitda ruxning sulfatli eritmaga o'tish darajasi 95,97% ga, misniki esa 94,04% ga yetkazildi.
5. Eksperimental nuqtalarning topokimyoviy makrokinetik modellarga approksimatsiyasi jarayonning Ginstling-Brounshteyn diffuzion tenglamasiga bo'ysunishini ($R^2 = 0,9914$) ko'rsatdi. Past faollashuv energiyasi qiymati ($E_a < 22$ kJ/mol) bilan korrelyatsiyada, parchalanish tezligini cheklovchi asosiy omil sirtida

hosil bo'luvchi kalsiy va qo'rg'oshin sulfatli passiv qobiqlar orqali reagentlarning ichki diffuzion transporti ekanligi akademik tasdiqlandi.

6. Tadqiqotlar majmuasi asosida polimetall xomashyosini qayta ishlashning yopiq sirkulyatsiyali prinsipial texnologik sxemasi ishlab chiqildi. Sxema mis va ruxni yuqori ko'rsatkich bilan gidro-fazaga o'tkazish, qo'rg'oshinni esa erimas kek tarkibida (99,2% gacha) alohida boyitib pirometallurgiyaga yo'naltirish orqali ekologik xavfsiz, nol oqovali va yuqori iqtisodiy samaradorlikka ega ishlab chiqarish interfeysini ta'minlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2018-yil 29-noyabrdagi PQ-4041-son qarori “*Kon-metallurgiya tarmog‘ini rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida*”.
2. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 24-noyabrdagi PQ-4899-son qarori “*Rangli metallurgiya sanoatini yanada rivojlantirish va modernizatsiya qilish chora-tadbirlari to‘g‘risida*”.
3. Sanchez, M., Parada, F., Parra, R., Marquez, F., Jara, R., Carrasco, JC va Palacios, J., Mis pirometallurgik shlaklarni boshqarish: Mis qazib olish sanoatiga qo‘shimcha qiymat berish, *Eritilgan shlaklar, oqimlar va tuzlar bo'yicha VII xalqaro konferensiya*, Chili, 2004, 543–550-betlar.
4. Sanchez, M. va Sudbury, M., Birlamchi metallurgiya chiqindilaridan qayta foydalanish: Mis shlaklari mis, molibden va temir manbai sifatida sinov ishlarining qisqacha sharhi va taklif qilingan oldinga siljish yo'li. *3-chi xalqaro shlaklarni baholash simpoziumi*, Leuven, 2013, 135–146-betlar.
5. Davenport, WG, King, M., Schlesinger, M. va Biswas, AK, *Misning qazib olish metallurgiyasi*, Oksford: Pergamon, 2002.
6. Naboichenko, SS *Rangli metallurgiya jarayonlari va apparatlari* (rus tilida), Yekaterinburg: USTU-UII, 2005.
7. Steblevskaya, NI, Medokov, MA, Belobeletskaya, MV, Smolkov, AA va Molchanov, VP, noorganik materiallar gidrometallurgiyasida suyuqlik ekstraksiyasi, *Vestnik Far-Eastern Div. Russ. Akad Sci.* (rus tilida), 2006 yil, № 5, p. 38.
8. Bai J va boshqalar (2020) *Boyitish orqali o'tga chidamli mis rux sulfid rudasidan ruxni ajratib olish bo'yicha eksperimental tadqiqot*. Min Metall 29(05):45–49
9. Lv SS va boshqalar (2020) Qinghai shtatidan olingan past navli mis-rux-oltingugurt polimetall rudasini mineral qayta ishlash bo'yicha eksperimental tadqiqot. Gold 41(11):62–66
10. Vafaeian S va boshqalar (2011) *Mexanik faollashtirilgan mis sulfid konsentratini sulfat kislota bilan eritish*. Miner Eng 24(15):1713–1716

11. Dong JS va boshqalar (2021) *Mis sulfid va rux sulfidini mineral flotatsiya bilan ajratish bo'yicha tadqiqotlarning rivojlanishi*. Rangsiz metall muhandisligi 11(08):68–74
12. Wu D va boshqalar (2021) *Ichki Mongoliyadagi polimetall rudasidan mis va ruxni ajratish bo'yicha eksperimental tadqiqot*. Rangli metallar 13:1163
13. Qiu XY va boshqalar (2022) *Olovga chidamli yuqori oltingugurtli misololtin va rux polimetall rudalaridan mis va oltinni qayta tiklashni eksperimental o'rganish*. J China Univ Min Technol 51(03):513–519
14. Wu JZ va boshqalar (2019) *Yuqori oltingugurtli mis-rux rudasining mis va ruxini to'liq aralash flotatsiya-qayta maydalash orqali desulfurizatsiya qilish*. Rangli metallar Eng 9(07):65–71
15. Kariuki S va boshqalar (2009) *Yengil kislotali sharoitlardan foydalangan holda mis konsentrati sulfid rudalaridan mis va ruxni xlorat asosida oksidlovchi gidrometallurgikekstraksiya qilish*. Gidrometallurgiya 96(1):72–76
16. Yang Y va boshqalar (2024) *Xitoyning Shinjon shahridagi Ashele VMS tipidagi Cu-Zn konining gidrotermal ruda hosil qilish tizimining evolyutsiyasi: sulfidlarning mineralogiyasi va geokimyosidan olingan ma'lumotlar*. Ore Geol Rev 167:105977
17. Luo WB va boshqalar (2016) *Mis-rux sulfid konsentratini bosim ostida eritib yuborish bo'yicha tadqiqot*. Min Metall 25(02):53–56
18. Fan LX va boshqalar (2020) *Sulfat kislota eritmasi yordamida ruxli mis konsentratidan ruxni olib tashlash*. Hydrometall China 39(05):366–370
19. Liu ZL (2021) *Mis sulfid konsentratidan kislorod bosimi bilan eritib olish orqali elektrod bilan misni qayta tiklash jarayonini o'rganish*. Mis muhandisligi 06:38–41
20. Ma HZ va boshqalar (2020) *Sulfat kislota bilan ishlov berish usuli bilan siyanid chiqindilarini qovurishdan Ironni eritib olish*. Rangli metallar (Ekstraksion metallurgiya). 10:19–22

21. Li HH va boshqalar (2021) *Sulfat kislota bilan faollashtirilgan Fe o'z ichiga olgan kanalizatsiya loyidan tayyorlangan magnit va oltingugurtga chidamli sorbent orqali tutun gazidan elementar simobni ushlash*. Yoqilg'i 300:120938
22. Radwan HA va boshqalar (2023) *Past navli uran rudasidan uran va unga bog'liq ba'zi qimmatli elementlarni ajratib olish uchun eritib yuborish jarayonini optimallashtirish*. Int J Environ Anal Chem 103(17):5259–5281
23. Ibrohim AH va boshqalar (2022) *Misr qozon kulini qayta ishlash natijasida olingan qattiq qoldiqlarni suv bilan yuvish orqali tejamkor va yuqori tozalikdagi qimmatbaho metallarni ajratib olish*. Minerallar 12(9):1084
24. Sun FZ va boshqalar (2023) *Ikkilamchi mis eritish changining sulfat kislota bilan qotishi jarayonida ko'p komponentli fazaning boshqariladigan transformatsiyasi*. J Central South Univ (Sci Technol) 54(02):506–517
25. Hasanov A.S., Sanakulov Q.S., Yusupxodjayev A.A. *“Rangli metallar metallurgiyasi”*, toshkent 2019y.
26. Marchenko N.V. *“Металлургия тяжёлых светных металлов”* (электронный ресурс), Красноярск 2019г.
27. AV Aksenov, AA Vasilev va AG Nikitinko, *“Oksidlangan rudalardan misni uyum bilan eritib olish. Jarayonning Rossiya iqlim sharoitlariga bog'liq xususiyatlari”*, Kimyo. Metallurg. Bul. Ir STU., № 1(84), 72–75 (2014).
28. W. Zhou, X. Liu, X. Lyu, W. Gao, H. Su va Ch. Li, *“Mis va temirni mis eritish shlaklaridan ajratib olish va ajratish: Sharh”*, J. Cleaner Prod. **368**(2–3), 13309 (2022).
29. E.I. Tagijev, *Alunit rudalarini chiqindisiz kompleks qayta ishlash texnologiyasi* (Elm, Baku, 2006).
30. DB Xomekulov, BE Niyazmetov, AN Bekbutaev va BG Gayratov, *“Olmalik KMK AJ oksidlangan rudalaridan misni aralashtirib, sulfat kislota bilan eritib olish yo'li bilan ajratib olish bo'yicha tadqiqot”*, Universum: Techn. Sci. **1**(94), (2022).

31. VA Chanturia va AP Kozlov, “Texnogen mineral xom ashyoni chuqur qayta ishlash uchun fizik-kimyoviy asoslarni ishlab chiqish va innovatsion texnologiyalarni ishlab chiqish”, *Mining J.*, № 7, 79–84 (2014).
32. M. Liu, J. Wen, G. Tan, G. Liu va B. Wu, “Tuwu mis konida past navli mis oksidi rudalarini kislotali eritmalar bilan eritish bo'yicha eksperimental tadqiqotlar va sinov zavodlari sinovlari”, *Gidrometallurgiya* (2016).
33. KB Quast, Atakamitni ($\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$) suyultirilgan sulfat kislota yordamida eritib olish *Eng.* **13**(14–15), 1647–1652 (2000).
34. B.V. Sinyaver va AA Zeidler, *Mis gidrometallurgiyasi (Xorijiy tajriba)* (Tsvetmetaxborot, Moskva, 1971).
35. GI Karavaiko va boshqalar, *Metallarning biogeotexnologiyasi. Amaliy qo'llanma* (Fan va texnologiyalar bo'yicha davlat qo'mitasining Xalqaro loyihalar markazi, Moskva, 1989).
36. S.S. Naboychenko va M. Dorjpurev, “Erdenet konidan xalkotsit konsentratini avtoklavda sulfat kislota bilan eritib olish. Universitetlar yangiliklari”, *Non-ferr. Metallurg*, № 6, 29–31 (1982).
37. EA Golovka, AK Rosenthal va boshqalar, *Mis-nikel rudalarini kimyoviy va bakterial eritish* (Fan, Leningrad, 1978).
38. AV Vanyukov va NI Utkin, *Mis va nikel xom ashyosini kompleks qayta ishlash* (Metallurgiya, Chelyabinsk, 1982).
39. CR Burra, J. Mermans, B. Blampain, Y. Puntikes, K. Binnemans va TV Gerven, “Noyob yer temir boksit qoldiqlarini sulfatlash, qovurish va eritib yuborish kombinatsiyasi orqali tanlab olish”, *Miner. Eng.* **92**, 150–159 (2016).
40. G. Xueyi, Dong Li, P. Kyung-Ho, T. Qrughua va W. Zhan, “Sulfatlash-qovurish-tanlab yuvish jarayonidan foydalangan holda limonit nikel lateritidan metallarni tanlab yuvish xususiyati”, *Gidrometallurgiya* **99**, 144–150 (2009).
41. BB Kar va YV Swamy, “Sulfatlash orqali xromli ortiqcha yukdan nikel ajratib olishning ba'zi jihatlari”, *Miner. Eng.* **13**(14–15), 1635–1640 (2000).

- 42.Z. Nikolas, JI David, E. Mackiw va V. Nicolaus, “Oksidlangan nikel va kobalt rudalarini sulfatlashda rag‘batlantiruvchi vositalar”, AQSh patenti 3367740A, 1968.
- 43.YV Swamy, BB Kar va JK Muhanty, “Past sifatli nikel lateritlarini fizik-kimyoviy tavsiflash va sulfatlash orqali kuydirish”, Hydrometallurgy**69**, 89–98 (2003).
- 44.A.A. Heydarov, MM Ahmedov, MA Kerimov, B. S. Valiyev va S.G. Efendiyeva, “Filizchay rudalaridan olingan pirrotinlangan materiallarning sulfat kislota bilan sulfatlanishini o‘rganish”, Azerb. Chem. J.**3**, 85–91 (2009).
- 45.FG Huertas, L. Chou va R. Wollast, “Xona harorati va bosimida kaolinitning erishi mexanizmi. Qism: Kinetik tadqiqot”, Geochim. Cosmochim. Acta**63**(19–20), 3261–3275 (1999).
- 46.J. Coner, JL Mogollan va AC Lasaga, “pH ning kaolinitning erish tezligiga va faollashuv energiyasiga ta'siri”, Geochim. Cosmochim. Acta**59**(6), 1037–1052 (1995).
- 47.Karimov, KA, Rogojnikov, DA, Naboichenko, SS va boshqalar. Past navli mis konsentratlaridan kumushni avtoklav ammiak bilan eritib olish. *Metallurgist***62**, 783–789 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11015-018-0720-0>.
- 48.Liao, Y., Ji, G., Shi, G. va boshqalar. Qimmatbaho metallarni tanlab eritish va mis eritish shlaklarida temir kremniy fazalarining oksidlovchi bosimli eritish orqali konfiguratsiyasini o'rganish. *J. Sustain. Metall.***7**, 1143–1153 (2021). <https://doi.org/10.1007/s40831-021-00404-9>