DOI: 10.65322/j.srd.06202026.43

UDK: 669.21/.23:579.66

MURAKKAB TARKIBLI OLTIN RUDALARINING MINERALOGIK-TEXNOLOGIK XUSUSIYATLARI VA ULARNI QAYTA ISHLASHNING ZAMONAVIY USULLARI

Pirnazarov F.G., *PhD,*
E-mail: fg.pirnazarov@mail.ru,
Asrorov A.A., *PhD,*
E-mail: anvar_199011@mail.ru,
Aripov A.R., *PhD,*
E-mail: avaz.aripov.82@bk.ru,
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti

Annotatsiya. *Mazkur maqolada murakkab tarkibli oltin rudalarining mineralogik va kimyoviy xususiyatlari, ularda oltinning uchrash shakllari, tasnifi hamda qayta ishlash jarayoniga ta'sir etuvchi asosiy omillar tahlil qilingan. Oson qayta ishlanadigan oltin rudalari zaxiralarining kamayib borishi sharoitida sulfidli, uglerodli va polimetall tarkibli rudalarni samarali o'zlashtirishning ilmiy-amaliy ahamiyati yoritilgan. Murakkab tarkibli rudalarni qayta ishlashda gravitatsion boyitish, flotatsiya, mayin yanchish, oksidlovchi kuydirish, bosimli oksidlash, biooksidlash va gidrometallurgik eritish texnologiyalarining imkoniyatlari ko'rib chiqilgan. Shuningdek, jahon tajribasi va O'zbekiston oltin sanoati misolida murakkab mineral xomashyodan kompleks foydalanish, oltin bilan birga yo'ldosh metallarni ajratib olish, resurs tejamkor texnologiyalarni joriy etish hamda ekologik xavfsizlikni ta'minlash masalalari muhokama qilingan. Tahlil natijasida murakkab tarkibli oltin rudalarini qayta ishlashda yagona universal texnologiya mavjud emasligi, samarali texnologik sxemani tanlash rudaning mineralogik tarkibi va oltinning mineral fazalardagi holatini chuqur o'rganishga bog'liqligi asoslangan.*

Аннотация. *В статье рассмотрены минералогические и химические особенности сложносоставных золотосодержащих руд, формы нахождения золота, их классификация и основные факторы, влияющие на эффективность переработки. Освещена научная и практическая значимость освоения сульфидных, углеродистых и полиметаллических руд в условиях сокращения запасов легкообогатимого золотосодержащего сырья. Проанализированы возможности гравитационного обогащения, флотации, тонкого измельчения, окислительного обжига, автоклавного окисления, биоокисления и гидрометаллургического выщелачивания. Особое внимание уделено комплексному использованию минерального сырья, извлечению попутных металлов, внедрению ресурсосберегающих технологий и обеспечению экологической безопасности на примере мировой практики и золотодобывающей промышленности Узбекистана.*

Abstract. *This article analyzes the mineralogical and chemical characteristics of complex gold ores, the forms of gold occurrence, their classification, and the main factors affecting processing efficiency. The scientific and practical importance of developing sulfide, carbonaceous, and polymetallic ores is discussed in the context of declining reserves of easily processable gold ores. The capabilities of gravity concentration, flotation, fine grinding, oxidative roasting, pressure oxidation, biooxidation, and hydrometallurgical leaching are examined. In addition, the issues of integrated mineral resource utilization, recovery of associated metals, implementation of resource-efficient technologies, and environmental protection are considered with reference to international practices and the gold industry of Uzbekistan. The analysis demonstrates that there is no universal processing technology for all complex gold ores. The*

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.43

selection of an efficient flowsheet depends primarily on a detailed investigation of the mineralogical composition and the occurrence of gold within mineral phases.

Kalit so‘zlar: *murakkab tarkibli oltin rudalari, sulfidli minerallar, uglerodli rudalar, refrakter rudalar, mineralogik tarkib, flotatsiya, biooksidlash, bosimli oksidlash.*

Ключевые слова: *сложносоставные золотосодержащие руды, сульфидные минералы, углеродистые руды, упорные руды, минералогический состав, флотация, биоокисление, автоклавное окисление.*

Keywords: *complex gold ores, sulfide minerals, carbonaceous ores, refractory ores, mineralogical composition, flotation, biooxidation, pressure oxidation.*

Kirish. Oltin insoniyat tarixida iqtisodiy va strategik ahamiyatga ega bo‘lgan eng muhim qimmatbaho metallardan biri hisoblanadi. Uning yuqori iqtisodiy qiymati, kimyoviy barqarorligi, korroziyaga chidamliligi va o‘ziga xos fizik-kimyoviy xususiyatlari ushbu metallning zargarlik sanoati, elektronika, elektrotexnika, tibbiyot, zamonaviy texnologiyalar hamda moliya-iqtisodiyot tizimida keng qo‘llanilishini ta’minlaydi. Shu sababli oltin qazib olish va uni mineral xomashyodan samarali ajratib olish kon-metallurgiya sanoatining ustuvor yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

Bugungi kunda oltin sanoatining rivojlanishida mineral-xomashyo bazasining o‘zgarishi, yangi konlarni o‘zlashtirish va mavjud konlardan samarali foydalanish masalalari alohida ahamiyat kasb etmoqda. Ayniqsa, oson boyitiladigan va tarkibida erkin holdagi oltin mavjud bo‘lgan rudalar zaxiralarining kamayib borishi natijasida murakkab tarkibli oltin rudalarini qayta ishlashga bo‘lgan ehtiyoj ortmoqda. Bunday rudalar tarkibida oltin bilan bir qatorda kumush, mis, temir, mishyak, surma, uglerodli moddalar va turli sulfidli minerallar uchrashi mumkin. Ularning mineralogik hamda kimyoviy tarkibidagi murakkablik oltinni ajratib olish jarayoniga bevosita ta’sir ko‘rsatadi.

Murakkab tarkibli oltin rudalarining asosiy texnologik muammolaridan biri oltin zarrachalarining boshqa minerallar bilan mustahkam bog‘langanligi va mayda dispers holatda tarqalganligidir. Ayrim hollarda oltin pirit, arsenopirit va boshqa sulfidli minerallar kristallari ichida qamalgan bo‘ladi. Bunday sharoitda oltin erituvchi reagentlar bilan bevosita ta’sirlasha olmaydi. Natijada an’anaviy sianlash jarayonida oltinning eritmaga o‘tish darajasi pasayadi.

Uglerodli rudalarda esa boshqa turdagi texnologik muammo kuzatiladi. Ruda tarkibidagi tabiiy organik uglerod yoki faol uglerodli moddalar eritmaga o‘tgan oltin komplekslarini qayta adsorbsiyalashi mumkin. Ushbu hodisa xalqaro ilmiy adabiyotlarda preg-robbing deb yuritiladi. Natijada eritmaga o‘tgan oltinning bir qismi yana qattiq fazaga qaytadi va umumiy ajratib olish samaradorligi pasayadi.

Shu nuqtayi nazardan, murakkab tarkibli oltin rudalarini qayta ishlashda faqat oltinning umumiy miqdorini aniqlash yetarli emas. Uning mineralogik holati, zarracha o‘lchami, boshqa minerallar bilan bog‘lanish darajasi, sulfidli va uglerodli komponentlarning mavjudligi hamda texnologik jarayonlarda namoyon bo‘ladigan xususiyatlarini kompleks o‘rganish talab etiladi.

Mazkur maqolaning maqsadi murakkab tarkibli oltin rudalarining mineralogik va texnologik xususiyatlarini tizimli tahlil qilish, ularning qayta ishlanishiga to‘sqinlik qiluvchi asosiy omillarni aniqlash hamda zamonaviy boyitish va metallurgik qayta ishlash usullarining imkoniyatlarini baholashdan iborat.

Tadqiqotning asosiy vazifalari quyidagilardan iborat:

– murakkab tarkibli oltin rudalarining mineralogik va kimyoviy xususiyatlarini tavsiflash;

– oltinning rudalarda uchrash shakllari va mineral fazalar bilan bog‘lanish xususiyatlarini tahlil qilish;

– oltin rudalarini qayta ishlash qiyinligiga ko‘ra tasniflash;

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.43

– murakkab rudalarni qayta ishlashda qo‘llaniladigan zamonaviy texnologiyalarni o‘rganish;

– jahon va O‘zbekiston oltin sanoatida ushbu rudalardan foydalanishning ahamiyatini yoritish;

– resurs tejamkor va ekologik xavfsiz texnologik yechimlarning istiqbollarini asoslash.

Adabiyotlar tahlili. Murakkab tarkibli oltin rudalarini qayta ishlash masalasi kon-metallurgiya sanoatida dolzarb ilmiy-texnologik yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. Bunday rudalarning texnologik xususiyatlari, avvalo, oltinning mineralogik tarkibda qanday shaklda uchrashi, sulfid minerallari bilan bog‘langanligi, uglerodli moddalar tarkibida joylashganligi hamda boshqa mineral komponentlar bilan o‘zaro birikish darajasiga bog‘liq. Adabiyotlarda oltin rudalari texnologik xususiyatlariga ko‘ra erkin qayta ishlanadigan va qiyin boyitiladigan (refrakter) rudalarga ajratiladi. Erkin oltin saqlovchi rudalarda gravitatsion boyitish va bevosita sianlash usullari orqali yuqori natijalarga erishish mumkin bo‘lsa, murakkab tarkibli rudalarda oltinning sulfid minerallari ichida mayda dispers holatda joylashishi yoki uglerodli moddalar tomonidan qayta adsorbsiyalanishi metall ajratib olish samaradorligini pasaytiradi. Bu holat P.M. Afenya tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda ham batafsil yoritilgan. Muallif uglerodli va sulfidli komponentlarning oltinni sianid eritmasidan adsorbsiyalash xususiyatini murakkab rudalarni qayta ishlashdagi asosiy muammolardan biri sifatida ko‘rsatgan [1].

K.S. Fraser, R.H. Walton va J.A. Wells tadqiqotlarida qiyin boyitiladigan oltin rudalarini qayta ishlashda mineralogik tarkibni chuqur o‘rganish hamda texnologik sxemani aynan ruda xususiyatlariga mos tanlash zarurligi ta’kidlangan. Mualliflar bunday rudalarni qayta ishlashda oksidlovchi kuydirish, bosim ostida oksidlash va biologik oksidlash usullarining ahamiyatini tahlil qilganlar. Shuningdek, dastlabki boyitish, konsentrat olish, reagentlar sarfi, iqtisodiy xarajatlar va chiqindilarni zararsizlantirish masalalari texnologik jarayon samaradorligiga bevosita ta’sir etishi qayd etilgan [2]. C. Komnitsas va F.D. Pooley tadqiqotlarida esa oltinning sulfid minerallari kristall panjarasida joylashishi uning sianid eritmasi bilan bevosita ta’sirlashishiga to‘sqinlik qilishi va shu sababli sianlashdan oldin oksidlovchi ishlov berish zarurligi asoslab berilgan [3].

Murakkab oltin rudalarini qayta ishlashda dastlabki tayyorlash va oksidlash jarayonlarini takomillashtirishga qaratilgan tadqiqotlar ham alohida ahamiyatga ega. Jumladan, O.U. Fuzaylov, F.I. Sayfullayev, I.I. Majidova va S.G‘. Jabborova tomonidan olib borilgan tadqiqotda sulfidli oltin saqlovchi konsentratlarni kuydirish jarayonini mikroto‘lqinli nurlanish yordamida jadallashtirish imkoniyatlari o‘rganilgan. Mazkur yondashuv sulfidli minerallarni oksidlash va keyingi metallurgik jarayonlar uchun qulay sharoit yaratish nuqtayi nazaridan muhimdir [4]. A.R. Aripov, O.U. Fuzaylov, F.I. Sayfullayev va M.N. Qurbonov ishlarida esa mikroto‘lqinli energiyadan foydalanish orqali murakkab oltin tarkibli ruda va konsentratlarning maydalanish hamda sianlanish qobiliyatini yaxshilash masalalari ko‘rib chiqilgan [5].

So‘nggi yillarda murakkab tarkibli oltin rudalarini qayta ishlashda gidrometallurgik va biotexnologik usullardan foydalanishga ham katta e’tibor qaratilmoqda. T.T. Sirojov, F.I. Sayfullayev, M.N. Qurbonov va Sh.J. Yuldosheva tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda oltin-mis tarkibli rudalarni kompleks qayta ishlashda sianidli tanlab eritish va bakterial oksidlash jarayonlarining o‘zaro uyg‘unligi tahlil qilingan. Ushbu yondashuv qimmatbaho metallarni ajratib olish samaradorligini oshirish bilan birga, texnologik jarayonlarning ekologik xavfsizligini ta’minlash masalalarini ham qamrab oladi [6]. A.R. Aripov va hammualliflarning gidrometallurgik usullarga bag‘ishlangan ishlarida murakkab tarkibli xomashyolardan qimmatbaho metallarni ajratib olishning ilmiy asoslari va amaliy qo‘llanilishi yoritilgan [7].

Bundan tashqari, murakkab oltin tarkibli rudalarni ultramayin yanchish orqali qayta ishlash istiqbolli yo‘nalishlardan biri sifatida qaralmoqda. A. Aripov, F. Sayfullayev, M. Qurbonov va A. Ikromov tomonidan chop etilgan tadqiqotda ultramayin yanchish texnologiyasining nazariy

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.43

asoslari, oltin zarrachalarini ochish darajasiga ta’siri hamda keyingi gidrometallurgik jarayonlar samaradorligini oshirishdagi ahamiyati tahlil qilingan. Mualliflar ushbu usulni an’anaviy oksidlovchi texnologiyalarga muqobil yoki ularni to‘ldiruvchi texnologik yechim sifatida ko‘rib chiqqanlar [8]. A.R. Aripov, F.I. Sayfullayev, M.N. Qurbonov va S.G‘. Jabborova tomonidan olib borilgan boshqa tadqiqotlarda esa oltin saqlovchi rudalarni ekologik jihatdan xavfsiz qayta ishlash imkoniyatlari o‘rganilgan. Bu ishlar murakkab rudalarni qayta ishlashda metall ajratib olish darajasi bilan bir qatorda atrof-muhitga ta’sirni kamaytirish ham muhim mezon ekanligini ko‘rsatadi [9].

Yuqorida keltirilgan ilmiy ishlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, murakkab tarkibli oltin rudalarini samarali qayta ishlash uchun yagona universal texnologik usul mavjud emas. Har bir ruda turi uchun mineralogik tarkib, oltinning uchrash shakli, sulfidli va uglerodli komponentlar miqdori, zarrachalarning o‘lchami hamda fizik-kimyoviy xususiyatlarini hisobga olgan holda texnologik jarayonlarni tanlash talab etiladi. Shu sababli gravitatsion boyitish, flotatsiya, mayin va ultramayin yanchish, oksidlovchi kuydirish, bosim ostida oksidlash, biooksidlash hamda gidrometallurgik tanlab eritish usullarini alohida yoki kompleks tarzda qo‘llash muhim ahamiyat kasb etadi [10].

Materiallar va usullar. Mazkur maqola nazariy-tahliliy sharh xarakteriga ega bo‘lib, uning metodologik asosini murakkab tarkibli oltin rudalarining mineralogik, kimyoviy va texnologik xususiyatlariga oid ilmiy ma’lumotlarni o‘rganish tashkil etadi. Tahlil jarayonida xorijiy va mahalliy ilmiy adabiyotlar hamda statistik manbalar asos qilib olindi.

Tadqiqot davomida tizimli tahlil, tasniflash, qiyosiy tahlil, ilmiy umumlashtirish va texnologik jarayonlarni tavsiflash usullaridan foydalanildi.

Birinchi bosqichda murakkab tarkibli oltin rudalarining mineralogik tarkibi va oltinning uchrash shakllari bo‘yicha ma’lumotlar tizimlashtirildi. Bunda erkin oltin, ochilgan oltin, minerallar bilan o‘simtali oltin, sulfidlar ichida qamalgan oltin hamda mineral kristall panjarasida joylashgan oltin shakllari alohida ko‘rib chiqildi.

Ikkinchi bosqichda rudalar mineralogik tarkibi va qayta ishlash xususiyatlariga ko‘ra guruhlarga ajratildi. Xususan, kvarsli va tomirli, sulfidli, uglerodli, oksidlangan hamda oltin-mis va polimetall rudalarining o‘ziga xos xususiyatlari tahlil qilindi.

Uchinchi bosqichda murakkab tarkibli rudalarni qayta ishlashda qo‘llaniladigan asosiy texnologik jarayonlar o‘rganildi. Gravitatsion boyitish, flotatsiya, mayin yanchish, oksidlovchi kuydirish, bosimli oksidlash, biooksidlash va gidrometallurgik eritish usullari texnologik vazifalari hamda qo‘llanish sharoitlari bo‘yicha qiyoslandi.

To‘rtinchi bosqichda murakkab tarkibli oltin rudalarini qayta ishlashning iqtisodiy va ekologik jihatlari, shuningdek, O‘zbekiston sharoitida mavjud mineral-xomashyo bazasidan kompleks foydalanish imkoniyatlari umumlashtirildi.

Ta’kidlash joizki, ushbu ish eksperimental tadqiqot emas, balki nazariy manbalar asosida tayyorlangan ilmiy-tahliliy sharh hisoblanadi. Shu sababli maqolada muayyan ruda namunasi bo‘yicha laboratoriya sinovlari, tajriba natijalari yoki sanoat ko‘rsatkichlari muallif tomonidan olingan natijalar sifatida keltirilmagan.

Natijalar. ***Murakkab tarkibli oltin rudalarining mineralogik xususiyatlari va tasnifi.*** Murakkab tarkibli oltin rudalari deb oltinni ajratib olish jarayoniga salbiy ta’sir ko‘rsatuvchi mineralogik, kimyoviy yoki texnologik xususiyatlarga ega bo‘lgan mineral xomashyolarga aytiladi. Ushbu rudalarning asosiy xususiyati oltinning boshqa minerallar bilan mustahkam bog‘langanligi, mayda dispers holatda tarqalganligi yoki eritmaga o‘tishini qiyinlashtiruvchi komponentlar bilan birgalikda uchrashidir.

Rudalarni tasniflashda mineralogik tarkibi, oltinning uchrash shakli, sulfidli minerallar miqdori, uglerodli moddalarning mavjudligi, oksidlanish darajasi va texnologik qayta ishlash xususiyatlari hisobga olinadi.

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.43

Mineralogik tarkibiga ko‘ra murakkab oltin rudalarini quyidagi asosiy guruhlarga ajratish mumkin.

Kvarsli va tomirli oltin rudalari. Bunday rudalarda oltin asosan kvars tomirlari, yoriqlar va tog‘ jinslari orasida uchraydi. Oltin erkin zarrachalar shaklida yoki kvars bilan o‘zaro bog‘langan holda bo‘lishi mumkin. Yirik va erkin oltin zarrachalarini gravitatsion boyitish orqali ajratish imkoniyati mavjud. Biroq mayda zarrachalar va mineral o‘simtalar holatidagi oltinni ajratib olish uchun qo‘shimcha yanchish hamda gidrometallurgik jarayonlardan foydalanish talab qilinishi mumkin.

Sulfidli oltin rudalari. Ushbu rudalarda oltin asosan pirit (FeS_2), arsenopirit (FeAsS), pirrotin va boshqa sulfidli minerallar bilan bog‘langan bo‘ladi. Oltin zarrachalari sulfid kristallari ichida juda mayda tarqalgan yoki mineral kristall panjarasida yashirin holatda joylashgan bo‘lishi mumkin. Bunday rudalarda oltinni to‘g‘ridan-to‘g‘ri eritmaga o‘tkazish qiyinlashadi. Shu sababli flotatsiya, mayin yanchish, oksidlovchi kuydirish, bosimli oksidlash va biooksidlash kabi oldindan tayyorlash usullaridan foydalaniladi.

Uglerodli oltin rudalari. Tarkibida tabiiy organik uglerod yoki faol uglerodli moddalar mavjud bo‘lgan rudalar ushbu guruhga kiradi. Ularning asosiy texnologik muammosi sianlash jarayonida hosil bo‘lgan oltin komplekslarining uglerodli moddalar tomonidan qayta adsorbsiyalanishidir. Bu jarayon oltinning eritmadan qattiq fazaga qaytishiga sabab bo‘ladi. Bunday rudalarni qayta ishlashda maxsus reagent rejimlari, uglerodli komponentlarni ajratish yoki oldindan oksidlash usullarini qo‘llash muhim ahamiyatga ega.

Oksidlangan oltin rudalari. Ushbu rudalar sulfidli minerallarning tabiiy nurash va oksidlanish jarayonlari natijasida hosil bo‘lgan mahsulotlarni o‘z ichiga oladi. Ularning tarkibida limonit, getit, gematit va boshqa temir oksidlari uchrashi mumkin. Oltinning bir qismi erkin holatda bo‘lishi sababli sianlash yoki boshqa gidrometallurgik usullar yordamida ajratilishi mumkin. Biroq oltinning temir oksidlari bilan bog‘langanligi texnologik samaradorlikka ta’sir ko‘rsatishi mumkin.

Oltin-mis va polimetall rudalari. Bunday rudalarda oltin mis, kumush, qo‘rg‘oshin, rux va boshqa metallar bilan birgalikda uchraydi. Mis minerallari ayrim gidrometallurgik jarayonlarda reagentlar sarfini oshirishi mumkin. Shu bilan birga, bunday xomashyo bir nechta qimmatli komponentlarni kompleks ajratib olish imkoniyatiga ega ekanligi bilan ajralib turadi.

Oltinning mineral xomashyoda qanday shaklda joylashganligi uni ajratib olish texnologiyasini belgilovchi asosiy omillardan biridir. Kimyoviy tahlilda bir xil oltin miqdori aniqlangan ikki xil ruda mineralogik holatiga qarab turlicha texnologik natijalarni namoyon qilishi mumkin.

Rudalarda oltin quyidagi asosiy shakllarda uchraydi:

1. Erkin oltin. Boshqa minerallardan nisbatan mustaqil zarrachalar shaklida mavjud bo‘ladi. Bunday oltinni gravitatsion boyitish orqali ajratish imkoniyati mavjud.
2. Ochiq yuzali oltin. Yanchish jarayonida mineral zarrachalar yuzasiga ochilgan va erituvchi reagentlar bilan bevosita ta’sirlashish imkoniyatiga ega bo‘lgan oltin shaklidir.
3. Minerallar bilan o‘simtali oltin. Boshqa minerallar bilan o‘zaro o‘sgan holda uchraydi. Uni ajratib olish uchun qo‘shimcha maydalash va yanchish talab etilishi mumkin.
4. Sulfidlar ichida qamalgan oltin. Pirit, arsenopirit va boshqa sulfidli minerallar tarkibida mayda zarrachalar yoki mikroskopik shaklda joylashadi. Bunday oltinni ajratib olish uchun sulfidli mineral matritsasini buzish yoki oksidlash zarur bo‘lishi mumkin.
5. Mineral kristall panjarasidagi oltin. Oltin atomlari mineralning kristall tuzilishida tarqalgan bo‘ladi. Uni ajratib olish mineral matritsasini parchalashga qaratilgan maxsus texnologik jarayonlarni talab etadi.
6. Uglerodli moddalar bilan bog‘liq oltin. Bunday rudalarda oltinning eritmaga o‘tishi va keyinchalik uglerodli fazalar tomonidan qayta yutilishi kuzatilishi mumkin.

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.43

Oltinning uchrash shakllarini aniqlash texnologik sxemani ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega. Chunki oltinning mineral fazalardagi holati yanchish darajasi, reagentlar sarfi, eritish tezligi va yakuniy ajratib olish ko‘rsatkichlariga bevosita ta’sir ko‘rsatadi.

Qayta ishlash qiyinligiga ko‘ra oltin rudalarining tasnifi. Amaliy metallurgiyada oltin rudalari qayta ishlash xususiyatlariga ko‘ra oson qayta ishlanadigan va qiyin qayta ishlanadigan guruhlarga ajratiladi.

Oson qayta ishlanadigan rudalarda oltinning katta qismi ochilgan yoki erkin zarrachalar holatida bo‘ladi. Shu sababli bunday xomashyoni gravitatsion boyitish, to‘g‘ridan-to‘g‘ri sianlash yoki ushbu usullarni birlashtirish orqali qayta ishlash mumkin.

Qiyin qayta ishlanadigan rudalarda esa oltin sulfidli minerallar ichida qamalgan, uglerodli moddalar bilan bog‘langan yoki boshqa mineralogik to‘siqlarga ega bo‘ladi. Bunday xomashyoni qayta ishlashda oldindan tayyorlash, oksidlash, mayin yanchish va maxsus gidrometallurgik jarayonlardan foydalanish zarurati yuzaga keladi.

1-jadval

Oltin rudalarining qayta ishlanish xususiyatlariga ko‘ra tasnifi

Ruda turi	Asosiy xususiyati	Qayta ishlash yo‘nalishi
Oson qayta ishlanadigan	Oltinning katta qismi ochilgan va eritish uchun qulay holatda	Gravitatsion boyitish, to‘g‘ridan-to‘g‘ri sianlash
Sulfidli qiyin qayta ishlanadigan	Oltin sulfidli minerallar ichida qamalgan	Flotatsiya, mayin yanchish, oksidlash
Uglerodli qiyin qayta ishlanadigan	Uglerodli moddalar oltin komplekslarini qayta adsorbsiyalaydi	Oldindan tayyorlash, maxsus reagent rejimlari
Ikki karra qiyin qayta ishlanadigan	Sulfidli va uglerodli xususiyatlar birgalikda mavjud	Kombinatsiyalangan oksidlash va gidrometallurgik usullar

Qiyin qayta ishlanadigan rudalar xalqaro adabiyotlarda refractory gold ores deb yuritiladi. Ayniqsa, tarkibida bir vaqtning o‘zida sulfidli va uglerodli komponentlar mavjud bo‘lgan rudalar ikki karra qiyin qayta ishlanadigan xomashyo sifatida alohida ahamiyatga ega.

Rudaning qayta ishlanish qiyinligini faqat uning kimyoviy tarkibi asosida aniqlash to‘g‘ri emas. Bunda oltinning ochilish darajasi, mineralogik bog‘lanishi, reagentlar sarfi, eritish kinetikasi va texnologik sinovlarda aniqlangan ajratib olish ko‘rsatkichlari kompleks baholanishi lozim.

Murakkab tarkibli oltin rudalarini qayta ishlashning zamonaviy texnologiyalari. Murakkab tarkibli oltin rudalarini qayta ishlashda texnologik jarayonlarni tanlash xomashyoning mineralogik tarkibi va oltinning uchrash shakliga bog‘liq. Jahon amaliyotida bir nechta asosiy boyitish va metallurgik usullar qo‘llaniladi.

Gravitatsion boyitish. Ushbu usul oltin va boshqa minerallarning zichliklari o‘rtasidagi farqqa asoslangan. Ayniqsa, yirik va erkin oltin zarrachalarini ajratishda samarali hisoblanadi. Gravitatsion boyitishning muhim jihati shundaki, u oltinni keyingi texnologik jarayonlarga yuborishdan oldin ajratib olish imkonini beradi. Biroq juda mayda dispers holatdagi yoki sulfidlar ichida qamalgan oltinni ushbu usul bilan to‘liq ajratib olish imkoniyati cheklangan. Dastlabki ultratovushli ishlov berish markazdan qochma konsentratsiya samaradorligini oshirishi ko‘rsatilgan [11].

Flotatsion boyitish. Sulfidli oltin rudalarini qayta ishlashda keng qo‘llaniladigan usullardan biridir. Jarayon mineral zarrachalarning fizik-kimyoviy va sirt xususiyatlari farqiga asoslanadi. Flotatsiya jarayonida oltin bilan bog‘langan sulfidli minerallar ko‘pik mahsulotiga ajratiladi va oltin miqdori nisbatan yuqori bo‘lgan konsentrat olinadi. Keyinchalik ushbu konsentrat alohida metallurgik qayta ishlashga yuboriladi.

Mayin yanchish. Oltin zarrachalari boshqa minerallar bilan o‘zaro o‘sgan yoki sulfidli minerallar ichida qisman qamalgan holatlarda yanchish darajasini oshirish talab qilinishi mumkin.

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.43

Mayin yanchish mineral zarrachalarni ochish va oltinning erituvchi reagentlar bilan ta’sirlashish imkoniyatini kengaytirishga xizmat qiladi. Biroq yanchishning optimal darajasi energiya sarfi, mineral tarkib va texnologik samaradorlikni hisobga olgan holda tanlanishi kerak.

Oksidlovchi kuydirish. Sulfidli minerallarni yuqori haroratda oksidlash orqali oltinni qamrab turgan mineral tuzilmani o‘zgartirishga asoslanadi. Natijada keyingi gidrometallurgik eritish jarayoni uchun qulay sharoit yaratilishi mumkin. Ushbu usulning muhim cheklovlaridan biri mishyak va oltingugurt birikmalarini o‘z ichiga olgan gazlarni tozalash zarurati hisoblanadi. Shu sababli gazlarni zararsizlantirish va ekologik xavfsizlikni ta’minlash texnologik sxemaning muhim qismi bo‘lishi kerak.

Bosimli oksidlash. Sulfidli konsentratlarni yuqori harorat va bosim ostida kislorod ishtirokida oksidlashga asoslangan texnologiyadir. Jarayon natijasida oltinni qamrab turgan sulfidli mineral matritsasi parchalanadi va oltinning keyingi eritish bosqichida ajralib chiqishi uchun qulay sharoit hosil bo‘ladi. Ushbu usul samarali bo‘lishi mumkin, biroq maxsus uskunalar, yuqori kapital xarajatlar va qat’iy texnologik nazoratni talab etadi.

Biooksidlash. Ayrim mikroorganizmlarning sulfidli minerallarni oksidlash xususiyatidan foydalanishga asoslangan. Jarayon natijasida oltin zarrachalarining sulfidli mineral matritsada qamalib qolish darajasi kamayadi va ular keyingi gidrometallurgik eritishga tayyorlanadi. Biooksidlash samaradorligi ruda tarkibi, harorat, pH va mikrobiologik sharoitlarga bog‘liq.

Gidrometallurgik eritish. Oltinni maxsus erituvchi reagentlar yordamida eritmaga o‘tkazish va keyinchalik eritmadan ajratib olishga asoslangan. Sianlash oltin metallurgiyasida keng qo‘llaniladigan usullardan biridir. Murakkab tarkibli rudalarda esa eritishdan oldingi tayyorlash, eritma tarkibini nazorat qilish va reagentlar bilan ishlashda xavfsizlik choralariga rioya etish alohida ahamiyatga ega.

Yuqoridagi texnologiyalarni alohida yoki kombinatsiyalangan holda qo‘llash mumkin. Masalan, sulfidli rudalarda dastlab flotatsiya orqali oltin bilan bog‘langan minerallar konsentratga ajratiladi, keyin konsentrat oksidlanadi va gidrometallurgik eritishga yuboriladi. Bunday yondashuv oltinning mineral matritsada qamalib qolishi bilan bog‘liq muammolarni kamaytirishga qaratilgan.

Murakkab tarkibli oltin rudalarini qayta ishlashning iqtisodiy va ekologik ahamiyati. Murakkab tarkibli oltin rudalarini qayta ishlashning iqtisodiy samaradorligi bir nechta omillarga bog‘liq. Birinchi navbatda, zamonaviy texnologiyalar avval iqtisodiy jihatdan samarasiz deb baholangan ayrim mineral xomashyo manbalaridan foydalanish imkoniyatini kengaytiradi. Bu esa mavjud mineral-xomashyo bazasini samarali o‘zlashtirishga xizmat qiladi.

Ikkinchidan, oltin bilan birga uchraydigan kumush, mis va boshqa qimmatli komponentlarni kompleks ajratib olish xomashyoning umumiy iqtisodiy qiymatini oshiradi. Bunda faqat oltinning ajratib olish darajasi emas, balki qo‘shimcha mahsulotlarning qiymati, energiya va reagentlar sarfi, ishlab chiqarish xarajatlari ham hisobga olinishi lozim.

Uchinchidan, ishlab chiqarish chiqindilarida qolib ketadigan oltin va boshqa metallarni qayta ajratib olish mineral resurslardan foydalanish samaradorligini oshiradi. Biroq bunday chiqindilarni qayta ishlashdan oldin ularning mineralogik tarkibi, ekologik xavfi va iqtisodiy maqsadga muvofiqligi baholanishi zarur.

Ekologik nuqtayi nazardan murakkab tarkibli rudalarni qayta ishlashda suv va energiya resurslaridan oqilona foydalanish, texnologik suvlarni aylanma foydalanishga qaytarish, zaharli reagentlarni xavfsiz boshqarish hamda sulfidli chiqindilardan kelib chiqadigan ekologik xavflarni kamaytirish muhim hisoblanadi.

Ayniqsa, mishyak va oltingugurt saqlovchi minerallarni oksidlash jarayonlarida hosil bo‘ladigan mahsulotlarni nazorat qilish, gazlarni tozalash va chiqindilarni xavfsiz saqlashga alohida e’tibor qaratilishi kerak.

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.43

Muhokama. ***Murakkab tarkibli oltin rudalarini qayta ishlashda texnologik yondashuvlarning qiyosiy tahlili.*** Murakkab tarkibli oltin rudalarini qayta ishlash bo‘yicha tahlillar shuni ko‘rsatadiki, har bir texnologik usul muayyan mineralogik va kimyoviy sharoitlarda samarali hisoblanadi. Shu sababli barcha turdagi oltin rudalariga bir xil texnologik sxemani qo‘llash maqsadga muvofiq emas.

Gravitatsion boyitish, asosan, erkin va yirik oltin zarrachalarini ajratishda samarali bo‘lsa, flotatsiya oltin bilan bog‘langan sulfidli minerallarni konsentratga ajratish imkonini beradi. Mayin yanchish mineral zarrachalarni ochishga xizmat qiladi. Oksidlovchi kuydirish, bosimli oksidlash va biooksidlash esa oltinning sulfidli mineral matritsada qamalib qolishi bilan bog‘liq muammolarni bartaraf etishga qaratilgan.

2-jadval

Murakkab tarkibli oltin rudalarini qayta ishlash usullarining qiyosiy tavsifi

Texnologik usul	Asosiy vazifasi	Qo‘llanish yo‘nalishi	Muhim cheklovlari
Gravitatsion boyitish	Erkin oltinni ajratish	Yirik va erkin oltin zarrachalari	Mayda va qamalgan oltin uchun samarasi cheklangan
Flotatsiya	Sulfidli minerallarni konsentratga ajratish	Sulfidli oltin rudalari	Konsentratni qo‘shimcha qayta ishlash talab etiladi
Mayin yanchish	Mineral zarrachalarni ochish	O‘simtali va qisman qamalgan oltin	Energiya sarfi yuqori bo‘lishi mumkin
Oksidlovchi kuydirish	Sulfidli matritsani parchalash	Sulfidli konsentratlar	Gazlarni tozalash zarur
Bosimli oksidlash	Sulfidlarni oksidlash	Qiyin qayta ishlanadigan konsentratlar	Maxsus uskuna va kapital xarajatlar talab etiladi
Biooksidlash	Mikroorganizmlar yordamida sulfidlarni oksidlash	Ayrim sulfidli konsentratlar	Mikrobiologik sharoitga bog‘liq
Gidrometallurgik eritish	Oltinni eritmaga o‘tkazish	Ochiq yoki oldindan tayyorlangan oltin	Reagent sarfi va ekologik xavfsizlik nazorati

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, texnologik usullar bir-birining o‘rnini to‘liq bosa olmaydi. Ularning vazifalari turlicha bo‘lib, ko‘p hollarda ketma-ket yoki kombinatsiyalangan tarzda qo‘llaniladi.

Masalan, tarkibida erkin oltin va sulfidli minerallar mavjud bo‘lgan rudalarda gravitatsion boyitish va flotatsiyani birlashtirish imkoniyati mavjud. Bunda erkin oltinning bir qismi dastlabki bosqichda ajratib olinadi, sulfidlar bilan bog‘langan oltin esa flotatsion konsentrat tarkibida to‘planadi. Keyingi bosqichda konsentratning mineralogik xususiyatlariga qarab oksidlash va gidrometallurgik eritish usullari tanlanadi.

Uglerodli rudalarda esa texnologik yondashuvning asosiy maqsadi oltin komplekslarining uglerodli moddalar tomonidan qayta yutilishini kamaytirishdan iborat. Shu sababli bunday xomashyo uchun maxsus tayyorlash va eritish rejimlarini ishlab chiqish talab etiladi.

Demak, texnologik sxemani tanlashda rudaning kimyoviy tarkibi bilan bir qatorda oltinning mineralogik holati va qayta ishlash jarayonida yuzaga keladigan texnologik to‘siqlarni ham hisobga olish lozim.

Jahon oltin sanoatining rivojlanishi mineral-xomashyo bazasining holati, yangi konlarni o‘zlashtirish, qazib olish xarajatlari, metall narxlari va zamonaviy texnologiyalarning takomillashuvi bilan chambarchas bog‘liq.

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.43

Oson qayta ishlanadigan yuqori sifatli rudalar zaxiralarining kamayishi sanoatni tarkibi murakkab, oltin miqdori nisbatan past yoki oltini mineral zarrachalar ichida qamalgan konlarni o‘zlashtirishga yo‘naltirmoqda. Shu sababli murakkab rudalarni samarali qayta ishlash nafaqat metallurgik, balki iqtisodiy va ekologik jihatdan ham muhim hisoblanadi.

Jahon amaliyotida murakkab rudalarni qayta ishlash texnologiyalari, avvalo, oltinning mineral matritsada qamalib qolishini bartaraf etish, eritmaga o‘tish darajasini oshirish, reagentlar sarfini optimallashtirish va yo‘ldosh metallarni ajratib olishga qaratilgan.

Flotatsiya va oldindan oksidlash jarayonlarining kombinatsiyasi sulfidli rudalarni qayta ishlashda muhim o‘rin tutadi. Bosimli oksidlash va biooksidlash kabi texnologiyalar esa sulfidli konsentratlarni keyingi eritish bosqichiga tayyorlash imkonini beradi.

Bunda texnologik jarayonlarning iqtisodiy samaradorligi faqat oltinning ajratib olish darajasi bilan emas, balki kapital xarajatlar, energiya sarfi, reagentlar iste’moli, chiqindilarni boshqarish va ekologik talablar asosida ham baholanishi kerak.

O‘zbekiston oltin qazib olish va qayta ishlash sanoati rivojlangan mamlakatlardan biri hisoblanadi. Mamlakatning mineral-xomashyo bazasida oltin konlari muhim o‘rin egallaydi. Oltin ishlab chiqarish sanoati eksport tushumlari, sanoat ishlab chiqarishi, yangi ish o‘rinlari yaratish va zamonaviy texnologiyalarni rivojlantirishda katta ahamiyatga ega.

O‘zbekiston oltin sanoatida Navoiy kon-metallurgiya kombinati hamda Olmaliq kon-metallurgiya kombinati muhim o‘rin tutadi. Mamlakatdagi asosiy oltin konlari, jumladan, Muruntov, Kokpatas, Dovg‘iztov va boshqa konlar turli mineralogik hamda texnologik xususiyatlarga ega [12].

Navoiy kon-metallurgiya kombinati ma’lumotlariga ko‘ra, Muruntov koni rudalari oson qayta ishlanadigan, Kokpatas va Dovg‘iztov konlari rudalari esa qiyin qayta ishlanadigan xomashyo sifatida tavsiflanadi. Bu holat O‘zbekiston sharoitida konlarning mineralogik xususiyatlariga mos ravishda turli texnologik sxemalarni qo‘llash zarurligini ko‘rsatadi.

O‘zbekiston sharoitida murakkab tarkibli oltin rudalarini qayta ishlashning quyidagi yo‘nalishlari muhim ahamiyatga ega:

Birinchidan, qiyin qayta ishlanadigan rudalarni o‘zlashtirish. Ayrim konlarda oltinning sulfidli minerallar ichida qamalganligi sababli an’anaviy eritish usullari yetarli natija bermasligi mumkin. Bunday rudalar uchun flotatsiya, konsentratni oksidlash va keyingi gidrometallurgik eritish bosqichlarini o‘z ichiga olgan texnologik sxemalar muhim hisoblanadi.

Ikkinchidan, mahalliy xomashyoning mineralogik xususiyatlarini chuqur o‘rganish. Har bir konning mineralogik tarkibi o‘ziga xos bo‘lib, oltinning qaysi minerallar bilan bog‘langanligi, zarrachalar o‘lchami, sulfidlar va uglerodli moddalarning miqdori aniqlanishi zarur. Ushbu ma’lumotlar texnologik jarayonni to‘g‘ri tanlash va iqtisodiy samaradorlikni baholash imkonini beradi.

Uchinchidan, oltin bilan birga boshqa qimmatli komponentlarni ajratib olish. O‘zbekistonning ayrim konlari va polimetall xomashyolarida oltin bilan birga kumush, mis va boshqa metallar ham uchraydi. Ushbu komponentlardan kompleks foydalanish mineral xomashyoning umumiy qiymatini oshiradi. Olmaliq kon-metallurgiya kombinatining mis-molibden xomashyosini qayta ishlash yo‘nalishlarida oltin va kumushni ham olish ko‘zda tutilishi kompleks qayta ishlashning ahamiyatini ko‘rsatadi.

To‘rtinchidan, zamonaviy gidrometallurgik texnologiyalarni rivojlantirish. Oltinni eritmaga o‘tkazish, eritmadan ajratish va tayyor metall mahsulotini olish bosqichlarini takomillashtirish ishlab chiqarish samaradorligini oshirishda muhimdir. Bunda reagentlar sarfi, eritish tezligi, oltinning ajratib olish darajasi va hosil bo‘ladigan chiqindilarning xususiyatlari birgalikda baholanishi lozim.

Beshinchidan, ekologik xavfsizlikni ta’minlash. Murakkab rudalar tarkibida mishyak, oltingugurt va boshqa zararli komponentlar mavjud bo‘lishi mumkin. Shu sababli gazlarni

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.43

tozalash, texnologik suvni qayta ishlatish, chiqindilarni xavfsiz saqlash va ularning atrof-muhitga ta'sirini nazorat qilish muhim vazifalar hisoblanadi.

Murakkab tarkibli oltin rudalarini qayta ishlash istiqbollari. Kelgusida O'zbekiston oltin sanoatining rivojlanishi mavjud konlarning mineral-xomashyo bazasidan samarali foydalanish, yangi konlarni o'zlashtirish va texnologik jarayonlarni modernizatsiya qilish bilan chambarchas bog'liq bo'ladi.

Murakkab tarkibli rudalarni qayta ishlashda quyidagi ilmiy-amaliy yo'nalishlar istiqbolli hisoblanadi:

– oltin zarrachalarining mineralogik holatini aniqlash uchun zamonaviy tahlil usullarini qo'llash;

– flotatsiya va gravitatsion boyitish jarayonlarini takomillashtirish;

– sulfidli konsentratlarni biooksidlash va bosimli oksidlash usullari yordamida oldindan tayyorlash imkoniyatlarini o'rganish;

– reagentlar sarfini kamaytiruvchi va ekologik xavfi past bo'lgan eritish texnologiyalarini ishlab chiqish;

– ishlab chiqarish chiqindilarida qolgan qimmatli metallarni qayta ajratib olish;

– avtomatlashtirish, raqamli monitoring va texnologik jarayonlarni matematik modellashtirish usullaridan foydalanish;

– suv va energiya resurslaridan oqilona foydalanish hamda aylanma suv ta'minotini kengaytirish.

Mazkur yo'nalishlarni rivojlantirish uchun oliy ta'lim muassasalari, ilmiy-tadqiqot tashkilotlari va kon-metallurgiya korxonalari o'rtasidagi hamkorlik muhim ahamiyatga ega. Laboratoriya va tajriba-sanoat sinovlari asosida ishlab chiqilgan texnologiyalarni ishlab chiqarishga joriy etish ruda tarkibining o'zgaruvchanligini hisobga olish va texnologik tavakkalchiliklarni kamaytirishga xizmat qiladi.

Shuningdek, har bir kon uchun alohida texnologik sxema ishlab chiqish, xomashyoning mineralogik tarkibini chuqur tahlil qilish va texnologik jarayonlarning iqtisodiy-ekologik samaradorligini birgalikda baholash zarur. Bu yondashuv mineral resurslardan kompleks foydalanish va oltin ishlab chiqarishning barqarorligini ta'minlashga yordam beradi.

Xulosa. O'tkazilgan nazariy-tahliliy o'rganishlar asosida quyidagi xulosalarga kelindi:

1. Murakkab tarkibli oltin rudalari mineralogik va kimyoviy tarkibining xilma-xilligi, oltin zarrachalarining mayda dispers holatda tarqalishi, sulfidli minerallar ichida qamalishi yoki uglerodli moddalar bilan bog'liqligi sababli qayta ishlashda alohida texnologik yondashuvni talab qiladi.

2. Oltinning erkin, ochilgan, minerallar bilan o'simtali, sulfidlar ichida qamalgan va mineral kristall panjarasida joylashgan shakllari rudaning texnologik xususiyatlarini belgilovchi muhim omillardir. Shu sababli texnologik sxemani tanlashdan oldin oltinning mineralogik holatini aniqlash zarur.

3. Murakkab tarkibli oltin rudalarini qayta ishlashda gravitatsion boyitish, flotatsiya, mayin yanchish, oksidlovchi kuydirish, bosimli oksidlash, biooksidlash va gidrometallurgik eritish usullari muhim o'rin tutadi. Ularning samaradorligi rudaning mineralogik tarkibi va oltinning uchrash shakliga bog'liq.

4. Sulfidli rudalarda oltinning mineral matritsada qamalib qolishi asosiy texnologik to'siqlardan biri hisoblanadi. Bunday xomashyoni qayta ishlashda flotatsiya va oldindan oksidlash jarayonlarini gidrometallurgik eritish bilan birlashtirish istiqbolli texnologik yondashuv hisoblanadi.

5. Uglerodli rudalarda oltin komplekslarining qayta adsorbsiyalanishi oltinni eritmadan ajratib olish samaradorligini pasaytirishi mumkin. Shu sababli bunday rudalar uchun maxsus reagent rejimlari va oldindan tayyorlash usullarini tanlash talab etiladi.

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.43

6. Murakkab tarkibli rudalarni kompleks qayta ishlash oltin bilan birga kumush, mis va boshqa qimmatli komponentlarni ajratib olish imkoniyatini kengaytiradi. Bu esa mineral xomashyoning umumiy iqtisodiy qiymatini oshirishga xizmat qiladi.

7. O‘zbekiston sharoitida Muruntov, Kokpatas, Dovg‘iztov va boshqa konlarning mineralogik-texnologik xususiyatlarini hisobga olgan holda qayta ishlash sxemalarini takomillashtirish muhim ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi.

8. Kelgusida murakkab tarkibli oltin rudalarini samarali o‘zlashtirishda resurs tejamkor texnologiyalar, aylanma suv ta’minoti, chiqindilarni qayta ishlash, avtomatlashtirish va ekologik xavfsizlik talablariga asoslangan texnologik yechimlarni rivojlantirish zarur.

Umuman olganda, murakkab tarkibli oltin rudalarini qayta ishlashda yuqori samaradorlikka erishishning asosiy sharti xomashyoning mineralogik xususiyatlarini chuqur o‘rganish, oltinning mineral fazalardagi holatini aniqlash va unga mos kompleks texnologik sxemani tanlashdan iborat. Bunday yondashuv mavjud mineral resurslardan oqilona foydalanish, qimmatli komponentlarni kompleks ajratib olish va kon-metallurgiya sanoatining iqtisodiy hamda ekologik samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Afenya P.M. Treatment of carbonaceous refractory gold ores // Minerals Engineering. – 1991. – Vol. 4, № 7–11. – P. 1043–1055.

2. Fraser K.S., Walton R.H., Wells J.A. Processing of refractory gold ores // Minerals Engineering. – 1991. – Vol. 4, № 7–11. – P. 1029–1041.

3. Komnitsas C., Pooley F.D. Mineralogical characteristics and treatment of refractory gold ores // Minerals Engineering. – 1989. – Vol. 2, № 4. – P. 449–457.

4. Fuzaylov O.U., Sayfullayev F.I., Majidova I.I., Jabborova S.G‘. Исследование способов интенсификации процесса обжига сульфидных золотосодержащих концентратов с применением микроволнового излучения // Journal of Advances in Science and Engineering Technology. – 2022. – № 2 (6).

5. Aripov A.R., Fuzaylov O.U., Sayfullaev F.I., Qurbonov M.N. Murakkab oltin tarkibli ruda va konsentratlarning maydalanish va sianlanish qobiliyatini yaxshilash uchun mikroto‘lqinli energiyadan foydalanish // Sanoatda raqamli texnologiyalar. – 2023. – № 2.

6. Sirojov T.T., Sayfullayev F.I., Qurbonov M.N., Yuldosheva Sh.J. Oltin va mis tarkibli rudalarni kompleks qayta ishlash texnologiyasini tadqiq qilish // Sanoatda raqamli texnologiyalar. – 2024. – № 2 (4). – B. 105–109. – DOI: 10.70769/3030-3214.SRT.2.4.2024.57.

7. Aripov A.R., Sayfullayev F.I., Qurbonov M.N., Jabborova S.G‘. Murakkab tarkibli xomashyolardan qimmatbaho metallarni ajratib olish jarayonida gidrometallurgik usullarning ilmiy asoslari va amaliy qo‘llanilishi // Sanoatda raqamli texnologiyalar. – 2025. – № 3 (1). – B. 91–98. – DOI: 10.70769/3030-3214.SRT.3.1.2025.23.

8. Aripov A., Sayfullayev F., Qurbonov M., Ikromov A. Murakkab oltin tarkibli rudalarni ultramayin yanchish jarayoni nazariy asoslari va amaliy ahamiyati. – 2026. – B. 27–39. – DOI: 10.24412/2181-144X-2026-2-27-39.

9. Aripov A.R., Sayfullayev F.I., Qurbonov M.N., Jabborova S.G‘. Oltin saqlovchi rudalarni ekologik jihatdan xavfsiz qayta ishlash imkoniyatlari // Sanoatda raqamli texnologiyalar. – 2025. – № 3 (4). – B. 84–88. – DOI: 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.29.

10. Surimbayeva M. et al. Refractory gold sulfide concentrates: processing approaches and technologies. – 2024.

11. Azimov O.A., Sattarova Sh.G‘., Narzullayev J.N., Asrorov A.A. Dastlabki ultratovushli ishlov berishning rudadan oltinning markazdan qochma konsentratsiyasi samaradorligiga ta’siri // Sanoatda raqamli texnologiyalar. – 2025. – № 3 (4). – B. 42–46.

12. U.S. Geological Survey. The mineral industry of Uzbekistan // Minerals Yearbook. – Reston: USGS.