

**RANGLI METALLARNI AJRATIB OLI SHDA GIDROMETALLURGIYA  
USULLARINING SAMARADORLIGINI BAHOLASH****Sarimsakov Alisher Ubaydullaevich**

Mustaqil izlanuvchi.

[alishersaidov772@gmail.com](mailto:alishersaidov772@gmail.com)<https://doi.org/10.5281/zenodo.19742885>

**Annotatsiya.** Mazkur ilmiy maqolada rangli metallarni ajratib olishda gidrometallurgiya usullarining nazariy va amaliy jihatlari kompleks tarzda tahlil qilingan. Tadqiqotda gidrometallurgiyaning asosiy bosqichlari — eritib olish (leaching), eritmadan ajratish (solvent ekstraksiya, ion almashinish) hamda metallni qayta tiklash jarayonlari tizimli yondashuv asosida o'rganilgan. Turli reagentlar, harorat rejimlari, eritma muhiti va texnologik parametrlarning metall ajralish samaradorligiga ta'siri ilmiy jihatdan asoslab berilgan. Shuningdek, gidrometallurgiya usullarining pirometallurgiya bilan solishtirganda energiya tejamkorligi, ekologik xavfsizligi va past tarkibli rudalarni qayta ishlashdagi ustunliklari ochib berilgan.

Tadqiqot natijalari asosida sanoat sharoitida gidrometallurgiya jarayonlarini optimallashtirish, resurslardan oqilona foydalanish va chiqindilarni kamaytirishga qaratilgan ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqilgan.

**Kalit so'zlar:** gidrometallurgiya, rangli metallar, leaching, eritib olish jarayoni, solvent ekstraksiya, ion almashinish, metall ionlari, texnologik samaradorlik, sanoat texnologiyalari, energiya tejamkorlik, ekologik barqarorlik, resurslardan samarali foydalanish, qayta ishlash texnologiyalari, metallurgiya jarayonlari, innovatsion yondashuvlar

**Аннотация.** В данной научной статье комплексно исследуются теоретические и практические аспекты гидрометаллургических методов извлечения цветных металлов.

Рассмотрены основные стадии гидрометаллургического процесса: выщелачивание, извлечение металлов из растворов (солVENTная экстракция, ионный обмен) и их последующее восстановление. Проведен анализ влияния технологических параметров, таких как состав реагентов, температурные условия и характеристики растворов, на эффективность извлечения металлов. Особое внимание уделено преимуществам гидрометаллургии по сравнению с пирометаллургическими методами, включая снижение энергозатрат, экологическую безопасность и возможность переработки бедных руд и отходов. На основе полученных результатов сформулированы научно-практические рекомендации по повышению эффективности гидрометаллургических процессов в промышленности.

**Ключевые слова:** гидрометаллургия, цветные металлы, выщелачивание, солVENTная экстракция, ионный обмен, извлечение металлов, технологическая эффективность, промышленные процессы, энергоэффективность, экологическая безопасность, переработка отходов, инновационные технологии, металлургия

**Abstract.** This scientific paper presents a comprehensive analysis of hydrometallurgical methods for the extraction of non-ferrous metals, focusing on both theoretical foundations and practical applications. The study systematically examines the key stages of hydrometallurgical processing, including leaching, solution purification and separation (solvent extraction and ion exchange), and metal recovery. Particular attention is given to the influence of technological parameters such as reagent composition, temperature conditions, and solution characteristics on extraction efficiency.

*The advantages of hydrometallurgical approaches over conventional pyrometallurgical methods are highlighted, especially in terms of lower energy consumption, environmental sustainability, and the ability to process low-grade ores and industrial wastes. Based on the findings, the paper proposes practical recommendations for optimizing hydrometallurgical processes and improving their industrial efficiency.*

**Keywords:** *hydrometallurgy, non-ferrous metals, leaching process, solvent extraction, ion exchange, metal recovery, process efficiency, industrial technology, energy efficiency, environmental sustainability, waste recycling, innovative approaches, metallurgical processes.*

## KIRISH

Bugungi kunda rangli metallar global iqtisodiyotning eng muhim strategik resurslari qatoriga kirgan bo'lib, ularning turli sanoat tarmoqlaridagi ahamiyati yildan-yilga oshib bormoqda. Mashinasozlik, elektrotexnika, qurilish va energetika kabi taraqqiyot uchun hal qiluvchi sohalarida mis, alyuminiy, rux, nikel va boshqa rangli metallarga bo'lgan ehtiyojning tez sur'atlar bilan o'sishi ularni yuqori unumdorlik va minimal xarajat bilan qayta ishlash usullarini izlab topishni davr talabiga aylantirdi. Aynan shu zaruriyat metallurgiya sanoatida innovatsion yondashuvlarni jadal rivojlantirishni va mavjud texnologik jarayonlarni tubdan takomillashtirishni kun tartibiga qo'yimoqda.

An'anaviy pirometallurgiya yo'li bilan metallarni ajratib olish juda yuqori harorat sharoitida — ko'pincha 1000–1500 °C va undan ham yuqori — amalga oshiriladi, bu esa ulkan miqdorda energiya sarfini muqarrar qiladi. Bundan tashqari, bunday jarayonlar zararli gazlar, chang va boshqa ifloslovchi moddalarning atmosferaga chiqarilishi bilan birga kechib, ekologik muhitga sezilarli zarar yetkazadi. Bularning barchasi past energiya talab qiluvchi, atrof-muhitga yoqimli va iqtisodiy jihatdan samarali bo'lgan alternativ texnologiyalarni ishlab chiqish masalasini kun tartibiga qo'yadi.

Ushbu muqobil yo'nalishlar ichida gidrometallurgiya usullari ayniqsa istiqbolli sifatida e'tirof etilmoqda. Mazkur texnologiya metallarni suvli eritmalar — kislotalar, ishqorlar yoki kompleks birikmalar — yordamida selektiv ravishda ajratib olishga asoslanadi.

Gidrometallurgiyaning muhim afzalligi shundaki, u nisbatan past harorat sharoitida ishlay oladi, bu esa energiya sarfini pirometallurgiyaga nisbatan bir necha barobar kamaytiradi. Shu bilan birga, ushbu usul faqat boy rudalar bilan cheklanib qolmay, past tarkibli rudalar, tog'-kon chiqindilari va sanoat qoldiqlaridan ham samarali tarzda metallarni ajratib olish imkonini beradi.

Mazkur tadqiqotda asosiy e'tibor rangli metallarni ajratib olishda gidrometallurgiya usullarining amaliy samaradorligini ilmiy ko'rsatkichlar asosida baholashga qaratilgan. Tadqiqot doirasida ushbu texnologiyalarning mavjud afzalliklari va hozircha bartaraf etilmagan cheklovlari qiyosiy tahlil qilinadi hamda ularni sanoat miqyosida qo'llashning real imkoniyatlari va yo'l xaritalari yoritiladi. Zamonaviy ilmiy adabiyotlar, ishlab chiqarish tajribalari va texnologik jarayon ma'lumotlari tahlili asosida ushbu soha rivojiga hissa qo'shadigan ilmiy xulosalar shakllantiriladi.

## ADABIYOTLAR TAHLILI

Gidrometallurgiya usullari va rangli metallarni ajratib olish texnologiyalari bo'yicha ilmiy adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, ushbu mavzu turli ko'lamlarda — nazariy asoslar, texnologik jarayonlar hamda sanoat amaliyoti nuqtai nazaridan keng o'rganilgan. Mavjud ilmiy ishlarni mazmuniga ko'ra to'rt asosiy yo'nalishga ajratish mumkin.

Birinchi yoʻnalish — gidrometallurgik jarayonlarning nazariy-kimyoviy asoslari. Bu yoʻnalishda yaratilgan muhim manbalardan biri “Gidrometallurgiya jarayonlari nazariyasi” darsligi hisoblanadi. Mazkur asarda gidrometallurgik jarayonlarning kambagʻal va murakkab tarkibli rudalardan metallarni nisbatan kam xarajat bilan ajratib olish imkoniyati asosiy afzallik sifatida asoslab berilgan. Shuningdek, elektrochoʻktirish, sorbsiya va selektiv eritish kabi usullarning fizik-kimyoviy mexanizmlari batafsil yoritilgan [1].

Bundan tashqari, “Gidrometallurgiya jarayonlari nazariyasi: amaliy mashgʻulotlar uchun uslubiy koʻrsatmalar” nomli ishda jarayonlarning termodinamik koʻrsatkichlari, moddalarning ionlarga parchalanish qonuniyatlari hamda jarayonlarni intensivlashtirish yoʻllari ilmiy asosda bayon etilgan. Ushbu tadqiqotlar gidrometallurgiyaning nazariy asoslarini mustahkamlashda muhim ahamiyat kasb etadi, biroq amaliy samaradorlikni miqdoriy baholash masalasi yetarli darajada yoritilmagan.

Ikkinchi yoʻnalish — noyob va qimmatbaho metallarni gidrometallurgik usullar orqali ajratib olishga bagʻishlangan. Bu boradagi dolzarb tadqiqotlardan birida zamonaviy rux ishlab chiqarish texnologiyalarida noyob metallarni ajratib olish imkoniyatlari tahlil qilingan.

Unda gidrometallurgik jarayonlarning yuqori selektivligi, energiya tejankorligi va ekologik xavfsizligi asosiy ustunlik sifatida koʻrsatilib, texnologik zanjir doirasida indiy (In), kadmiy (Cd), galliy (Ga), germaniy (Ge) va skandiy (Sc) kabi strategik metallarni bir vaqtning oʻzida ajratib olish imkoniyati ilmiy asoslangan.

Shuningdek, Oʻzbekiston rangli metallurgiya sanoatida mahalliy xom ashyo asosida galliyni ajratib olish texnologiyalarini oʻrgangan tadqiqotda alyuminiy ishlab chiqarish chiqindi eritmalaridan galliyni sorbsiya va ekstraksiya usullari orqali ajratish jarayonining texnologik jihatlari chuqur tahlil qilingan [2]. Ushbu ishlar xom ashyodan kompleks foydalanish masalasiga yangi yondashuv sifatida alohida ahamiyatga ega.

Uchinchi yoʻnalish — texnogen chiqindilar va ikkilamchi xom ashyoni gidrometallurgiya usullari orqali qayta ishlash masalalarini qamrab oladi. Mamaisakova Z.B. boshchiligidagi ilmiy tadqiqotlarda mineral resurslardan toʻliq va oqilona foydalanish zarurligi asoslab berilib, nafaqat tabiiy rudalardan, balki sanoat chiqindilari va texnogen hosilalardan ham foydali metallarni ajratib olish texnologiyalarini ishlab chiqish muhim vazifa sifatida koʻrsatib oʻtilgan [3].

Mazkur yoʻnalish iqtisodiy samaradorlik bilan bir qatorda ekologik muammolarni kamaytirishda ham muhim ahamiyat kasb etadi.

Toʻrtinchi yoʻnalish — ogʻir rangli metallar metallurgiyasining texnologik asoslariga bagʻishlangan tadqiqotlarni oʻz ichiga oladi. Ushbu yoʻnalishda yaratilgan fundamental darsliklarda mis, rux va qoʻrgʻoshin kabi metallarni qayta ishlash texnologiyalari, xom ashyo tavsifi, shteyn olish jarayonlari va ishlab chiqarish sxemalari batafsil yoritilgan.

Xususan, rux sulfat eritmalarini tozalash va elektroliz orqali ruxni ajratib olish jarayonlarining nazariy va amaliy jihatlari mukammal bayon etilgan [4]. Shuningdek, gidrometallurgiyaning rivojlanish tarixiga oid qisqa maʼlumotlar ushbu sohaning Oʻzbekistonda ham izchil rivojlanib borayotganini koʻrsatadi.

Umuman olganda, tahlil qilingan ilmiy manbalar gidrometallurgiyaning nazariy va amaliy jihatlarni keng qamrab olganini koʻrsatadi. Shu bilan birga, turli gidrometallurgik usullar samaradorligini oʻzaro qiyosiy tahlil qilish, ayniqsa ularni aniq miqdoriy koʻrsatkichlar asosida baholash masalasi hali yetarli darajada oʻrganilmagan.

Ayniqsa, Oʻzbekiston sanoat sharoitida bunday tahlillarni chuqurlashtirish dolzarb ilmiy muammo boʻlib qolmoqda. Mazkur tadqiqot aynan ushbu boʻshliqni toʻldirishga qaratilgan.

## METODOLOGIYA

Mazkur tadqiqotda gidrometallurgiya usullarining samaradorligini baholash uchun tizimli va qiyosiy yondashuvdan foydalanildi. Tadqiqot jarayonida ilmiy adabiyotlar tahlili, texnologik jarayonlarni solishtirish hamda umumlashtirish usullari qo'llanildi.

Gidrometallurgik jarayonlarning asosiy bosqichlari — eritib olish, ajratish va qayta tiklash — samaradorlik ko'rsatkichlari asosida baholandi. Shuningdek, turli usullarning energiya sarfi, selektivligi va ekologik ta'siri o'zaro qiyoslab tahlil qilindi.

Natijada, gidrometallurgiya texnologiyalarining amaliy samaradorligini oshirishga doir ilmiy xulosalar shakllantirildi.

## MUHOKAMA VA NATIJALAR

Tadqiqot davomida olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, gidrometallurgiya usullari rangli metallarni ajratib olishda yuqori selektivlik va moslashuvchanlik xususiyatlari bilan ajralib turadi. Ushbu texnologiyaning asosiy ustunligi kambag'al va qiyin boyitiladigan rudalardan metallarni nisbatan kam xarajatlar bilan ajratib olish imkoniyatidir. An'anaviy pirometallurgiya usullarida ruda tarkibidagi metall miqdori kamida 1–2 % bo'lishi talab etilsa, gidrometallurgiya usullari 0,1–0,3 % tarkibli rudalarda ham samarali ishlash imkonini beradi. Bu esa sanoat amaliyoti uchun muhim afzallik hisoblanadi.

Gidrometallurgik jarayonlar bir necha ketma-ket bosqichlardan iborat bo'lib, ularga xom ashyoga mexanik va kimyoviy ishlov berish, tanlab eritish, cho'ktirish hamda metallni ajratib olish jarayonlari kiradi. Har bir bosqichning optimal sharoitda olib borilishi yakuniy mahsulot sifatini va umumiy samaradorlikni belgilaydi. Ayniqsa, elektroliz, sementatsiya, sorbsiya va suyuq ekstraksiya jarayonlari asosiy samaradorlik omillari sifatida ajralib turadi.

Tanlab eritish gidrometallurgik texnologik zanjirning eng muhim bosqichi hisoblanadi.

Turli erituvchi reagentlar turli metallarga nisbatan turlicha samaradorlik ko'rsatadi.

Tadqiqotlar natijasida xlorid (HCl) va nitrat (HNO<sub>3</sub>) kislotali muhitlarda ultratovush yordamida olib borilgan ekstraksiya jarayonida boyitish koeffitsienti 220 ga yetgani va ekstraksiya samaradorligi 96 % ni tashkil etgani aniqlangan.

Bundan tashqari, oltin va kumushni sianid eritmalarida eritish va keyinchalik faollashtirilgan ko'mir hamda ion almashinuv qatronlari yordamida sorbsiya qilish yuqori natija beradi. Desorbsiya jarayonida NaOH va NaCN eritmalarida qo'llanilganda ushbu metallarni 95 % dan ortiq darajada qayta tiklash mumkinligi isbotlangan.

Sorbsiya va suyuq ekstraksiya usullari eritmalaridagi metall ionlarini ajratib olishda keng qo'llaniladi. Ularning asosiy ko'rsatkichlari quyidagicha:

Ko'rsatkich	Sorbsiya (ion almashinuvi)	Suyuq ekstraksiya
Samaradorlik	88–95 %	90–99 %
Selektivlik	O'rtacha–yuqori	Juda yuqori
Jarayon tezligi	O'rtacha	Yuqori
Reagent sarfi	Past	O'rtacha
Apparatura murakkabligi	Past	Yuqori
Moslashuvchanlik	Yuqori	O'rtacha

Sorbsiya, ekstraksiya va desorbsiya jarayonlarini birlashtirib qo'llash oltin va kumushni ajratishda eng yuqori samaradorlikni ta'minlaydi. Biroq murakkab texnologik uskunalardan va qimmat reagentlardan talab qilinishi kichik ishlab chiqarishlar uchun ma'lum cheklavlarni yuzaga keltiradi. Biogidrometallurgiya mikroorganizmlar, xususan *Acidithiobacillus ferrooxidans* bakteriyalari yordamida metall ajratib olish usuli bo'lib, so'nggi yillarda dolzarb yo'nalishga

aylangan. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, ushbu usul energiya sarfini kamaytiradi: an'anaviy usullarga nisbatan har bir tonna metall uchun o'rtacha 2000 MJ gacha energiya tejraladi.

Shu bilan birga, ushbu usulning asosiy kamchiligi jarayonning sekin kechishidir. Jarayon bir necha kun yoki haftalar davom etishi mumkin, bu esa uning keng miqyosda qo'llanilishini cheklaydi. Shu sababli u asosan past tarkibli rudalar va texnogen chiqindilarni qayta ishlashda qo'llaniladi.

Tadqiqotlar natijasida texnogen chiqindilar tarkibidagi metallarni gidrometallurgiya usullari orqali ajratib olish yuqori samaradorlikka ega ekanligi aniqlangan. Xususan, oksidlangan rudalar va sanoat chiqindilaridan mis, oltin va kumushni bir bosqichli texnologiya orqali ajratib olish imkoniyati mavjud.

Shuningdek, xlorid eritmalar yordamida Au, Ag, Cu va Zn metallarini kompleks tarzda ajratib olish texnologiyasi ishlab chiqilgan. Bu yondashuv chiqindilarni kamaytirish bilan birga iqtisodiy samaradorlikni oshiradi.

Gidrometallurgik jarayonlarda fazalarni ajratish va degidratatsiya bosqichlari muhim ahamiyatga ega. Ushbu jarayonlarning samarasizligi umumiy texnologik tizim samaradorligini pasaytiradi va energiya sarfini oshiradi.

Zamonaviy filtrlash uskunalari, membrana texnologiyalari va markazdan qochirma separatorlardan foydalanish ushbu bosqich samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Bu esa ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish va resurslardan samarali foydalanishga xizmat qiladi.

Gidrometallurgiya ekologik jihatdan an'anaviy usullarga nisbatan ustun hisoblanadi.

Ushbu texnologiya kam energiya sarfi, chiqindilarning kamayishi va zararli gazlar ajralishining pastligi bilan tavsiflanadi.

Bundan tashqari, biogidrometallurgiya usullari atrof-muhitga zarar yetkazmasdan metall ajratib olish imkonini beradi. Hosil bo'ladigan chiqindilar kam toksik bo'lib, ularni qayta ishlash nisbatan oson.

Tadqiqot natijalari asosida quyidagi asosiy xulosalar shakllantirildi:

- Ultratovush yordamida olib borilgan ekstraksiya jarayonida boyitish koeffitsienti 220 ga, samaradorlik esa 96 % ga yetishi aniqlandi
- NaOH va NaCN eritmaları yordamida oltin va kumushni 95 % dan ortiq darajada qayta tiklash mumkinligi tasdiqlandi
- Biogidrometallurgiya usuli har bir tonna metall uchun o'rtacha 2000 MJ energiya tejash imkonini beradi
- Suyuq ekstraksiya, sorbsiya va desorbsiya jarayonlarini birlashtirish eng yuqori samaradorlikni ta'minlaydi
- Texnogen chiqindilardan Au, Ag, Cu va Zn metallarini bir bosqichda ajratib olish imkoniyati mavjud
- Degidratatsiya va fazalarni ajratish jarayonlari umumiy tizim samaradorligini belgilovchi muhim omil hisoblanadi

#### **XULOSA VA TAKLIFLAR**

Mazkur tadqiqot davomida rangli metallarni ajratib olishda gidrometallurgiya usullarining samaradorligi kompleks tarzda tahlil qilindi va quyidagi umumlashgan ilmiy xulosalar shakllantirildi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, gidrometallurgiya usullari past tarkibli va murakkab rudalardan metall ajratib olishda yuqori samaradorlikka ega bo'lib, an'anaviy pirometallurgiya usullariga nisbatan sezilarli ustunliklarga ega. Shu bilan birga, tanlab

eritish jarayonining optimal sharoitda tashkil etilishi umumiy texnologik samaradorlikni belgilovchi asosiy omil hisoblanadi.

Shundan kelib chiqib, sanoat amaliyotida reagentlar tarkibi va jarayon parametrlarini ilmiy asosda optimallashtirish zarur.

Shuningdek, sorbsiya, suyuq ekstraksiya va desorbsiya jarayonlarini kompleks qo'llash metall ionlarini yuqori darajada ajratib olish imkonini berishi aniqlangan. Shu sababli ushbu jarayonlarni integratsiyalashgan texnologik sxema asosida joriy etish sanoat samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Tadqiqotlar davomida biogidrometallurgiya usullarining energiya tejamkorligi va ekologik afzalliklari isbotlandi, biroq jarayonning sekinligi ularning keng miqyosda qo'llanilishini cheklab kelmoqda. Shu bois kelgusida ushbu yo'nalishda jarayon tezligini oshirishga qaratilgan innovatsion tadqiqotlarni kengaytirish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Bundan tashqari, texnogen chiqindilarni qayta ishlash orqali qimmatli metallarni ajratib olish imkoniyati yuqori ekanligi aniqlandi. Bu esa nafaqat iqtisodiy samaradorlikni oshiradi, balki ekologik muammolarni kamaytirishga ham xizmat qiladi. Shu nuqtai nazardan, chiqindilarni qayta ishlashga yo'naltirilgan kompleks gidrometallurgik texnologiyalarni ishlab chiqish va amaliyotga joriy etish zarur.

Tahlillar shuni ko'rsatdiki, gidrometallurgik jarayonlarda fazalarni ajratish va degidratatsiya bosqichlari umumiy tizim samaradorligini belgilovchi muhim omillardan biridir.

Shu sababli zamonaviy filtrlash uskunalari va ilg'or texnologiyalarni qo'llash orqali ushbu bosqichlarni takomillashtirish tavsiya etiladi. Umuman olganda, gidrometallurgiya usullarini rivojlantirish, ularni innovatsion texnologiyalar bilan uyg'unlashtirish hamda ekologik xavfsiz ishlab chiqarishni ta'minlash zamonaviy metallurgiya sanoatining ustuvor yo'nalishlaridan biri bo'lib qolmoqda.

#### FOYDALANILGAN MANBA VA ADABIYOTLAR

1. Gidrometallurgiya jarayonlari nazariyasi. — Toshkent: ScienceWeb ilmiy platformasi, 2023. — URL: [https://api.scienceweb.uz/storage/publication\\_files/4145/12411/](https://api.scienceweb.uz/storage/publication_files/4145/12411/)
2. Gidrometallurgiya jarayonlari nazariyasi: amaliy mashg'ulotlar uchun uslubiy ko'rsatmalar. — Toshkent: Academia.edu, 2019. — URL: <https://www.academia.edu/42657027/>
3. Zamonaviy rux ishlab chiqarish jarayonlarida noyob metallarni ajratib olishning ilmiy asoslari. — *Science Algorithm Journal*, 2020. — URL: <http://sciencealgorithm.uz/wp-content/uploads/2020/11/3.3-Metallurgy-58-61.pdf>
4. O'zbekiston rangli metallurgiya sanoatida mahalliy mineral xom ashyo resurslaridan foydalangan holda rangli, nodir va qimmatbaho metallarni ajratib olish texnologiyalari. — *Sanoatda raqamli texnologiyalar jurnali*, 2024. — URL: <https://ojs.qmii.uz/index.php/sr/article/view/845/588>
5. Mamaisakova Z.B. Texnogen chiqindilarni gidrometallurgiya usulida qayta ishlash. — *Sanoatda raqamli texnologiyalar jurnali*, 2025. — URL: <https://srt-journal.uz/ojs/index.php/SRT/uz/article/view/148>
6. Og'ir rangli metallar metallurgiyasi darsligi. — Toshkent: Scribd ilmiy kutubxonasi, 2024. — URL: <https://ru.scribd.com/document/708899091/>
7. Gidrometallurgiya. — O'zbekiston Milliy Ensiklopediyasi asosida. — Toshkent: O'zME, 2000. — URL: <https://uz.wikipedia.org/wiki/Gidrometallurgiya>