QIMMATBAHO METALLARNI EKOLOGIK XAVFSIZ ELEKTROKIMYOVIY ERITISH TEXNOLOGIYASINI ISHLAB CHIQISH

Boymurodov Najmiddin Abduqodirovich
Qarshi davlat texnika universiteti t.f.f.d., PhD, Qarshi, O‘zbekiston
ORCID ID: 0009-0007-7820-7799
Email: najmiddinboy-94@mail.ru

Annotatsiya: Mazkur maqolada rangli va qimmatbaho metallarni murakkab va qiyin eruvchi xomashyolardan ajratib olishning elektrokimyoviy usuli yoritilgan. Tadqiqotlar natriy gidroksid eritmalarida oltingugurt–grafit kompozit elektroddan foydalanilgan holda olib borilgan bo‘lib, oltin va kumushning eritmaga o‘tish kinetikasi, elektrokimyoviy parametrlarning ta’siri hamda jarayonning IR-spektroskopik tahlili o‘rganilgan. Tajribalar natijasida natriy polisulfidlar hosil bo‘lishi aniqlanib, ularning tiosulfat va sulfit ionlari bilan kompleks hosil qilishi isbotlangan. Tok zichligi oshgani sayin metallarning eritmaga o‘tish tezligi ortgani kuzatilgan. Natijalar murakkab rudalarni ekologik xavfsiz va energiya tejamkor usulda qayta ishlash imkonini beradi.

Kalit so‘zlar: elektrokimyoviy eritish, oltingugurt–grafit elektrod, oltin, kumush, tiosulfat, IR-spektroskopiya.

Abstract: This paper presents the electrochemical method for extracting nonferrous and noble metals from complex and refractory raw materials. Experiments were conducted using sulfur–graphite composite electrodes in sodium hydroxide solutions to study the kinetics of gold and silver dissolution, the influence of electrochemical parameters, and IR-spectroscopic characteristics of the process. Results revealed the formation of sodium polysulfides, including thiosulfate and sulfite ions, capable of forming complexes with noble metals. Increasing current density enhanced the dissolution rate of metals. The proposed method ensures efficient, eco-friendly, and energy-saving processing of complex ores.

Keywords: electrochemical leaching, sulfur–graphite electrode, gold, silver, thiosulfate, IR-spectroscopy.

Аннотация: В статье рассматривается электрокимический метод извлечения цветных и благородных металлов из сложных и труднообогатимых сырьевых материалов. Исследования проводились в растворах гидроксида натрия с использованием серо-графитового композитного электрода. Изучены кинетика растворения золота и серебра, влияние электрохимических параметров и ИК-спектроскопические характеристики процесса. Установлено образование полисульфидов натрия, включая тиосульфат- и сульфит-ионы, способных образовывать комплексы с благородными

ISSN 3030-3907

металлами. Повышение плотности тока приводит к увеличению скорости перехода металлов в раствор. Метод обеспечивает эффективную, экологически безопасную и энергоэкономичную переработку сложных руд.

Ключевые слова: электрохимическое выщелачивание, серо-графитовый электрод, золото, серебро, тиосульфат, ИК-спектроскопия.

Kirish

Metallarning eritma holatiga o‘tishini ta’minlovchi gidrometallurgik usullarni takomillashtirish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar ko‘lami va yo‘nalishlarining kengayib borishi, avvalo, qazib olinayotgan rudalarning sifatining yomonlashuvi, tarkibida bir necha komponentli va murakkab qayta ishlanadigan xomashyolarning ishlab chiqarishga jalb etilishi, shuningdek, texnogen chiqindilar va ikkilamchi xomashyolarni qayta ishlash zaruratiga bog‘liqdir [1]. Ushbu omillar metall ajratish texnologiyalarini yanada mukammallashtirishni va ekologik jihatdan xavfsiz usullarni ishlab chiqishni talab etadi.

Oltin va kumush kabi qimmatbaho metallarni erituvchilar yordamida eritmaga o‘tkazish bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar natijasida ularning sulfidli va murakkab rudalaridan ajratib olinishi uchun samarali usullar ishlab chiqilgan [4]. Xususan, gidrometallurgik ishlov berish jarayonlari orqali rudalardagi birikmalarni eritiluvchi holatga o‘tkazish (pirotit va arsenopiritni avtoklavlarda oksidlash, azot kislotali ochish, bakterial yuvish va boshqalar) natijasida oltinni siyanidsiz eritmalar yordamida ajratib olish imkoniyati yaratilgan. Shunday usullardan biri sifatida tiyokarbamid va tiosulfat eritmalari asosidagi jarayonlar turli mineral xomashyolardan oltin olishda keng qo‘llanilgan [5].

Metallarning eritmaga o‘tish jarayonini jadallashtirishda nafaqat kimyoviy, balki fizik va fizik-kimyoviy usullar ham keng tatbiq etilmoqda. Bunga minerallarning kristall panjarasini mexanokimyoviy ta’sirlar orqali buzish, kimyoviy reaksiyalarning to‘lqinli xususiyatlaridan foydalanish kabi texnologik yondashuvlar misol bo‘la oladi [6]. Bunday texnik yechimlar qimmatbaho metallar va aralashmalar fazalarini individuallashtirish hamda ularni tanlab eritmaga o‘tkazish imkonini beradi. So‘nggi ilmiy izlanishlar natijalari shuni ko‘rsatadiki, ko‘plab mavjud texnologiyalar asosiy mineral bilan uni o‘rab turgan jins minerallari o‘rtasidagi kuchlarini yetarlicha inobatga olmaydi. Aslida, ushbu kuchlarni yengib o‘tishga qaratilgan jarayonlar metallni eritmaga o‘tish tezligini sezilarli darajada oshirishi mumkin. Masalan, piritcha oksidlanish tezligini cheklovchi asosiy omil sifatida uning oksidlovchi bilan kimyoviy o‘zaro ta’siri bosqichi ajratib ko‘rsatiladi, bu esa sulfid-oksid tizimlaridagi oksidlanish-qaytarilish reaksiyalariga muhim ta’sir ko‘rsatadi [7].

Oltingugurt elementi – oksidlanish mahsulotlaridan biri sifatida – konsentratdagi oksid komponentining dispersiyalovchi ta’siri sababli pirit

ISSN 3030-3907

zarrachalari bilan konglomeratlar hosil qilmaydi. Eritish jarayonida yuqoridagi holatlar bilan bog‘liq qiyinchiliklarni bartaraf etish maqsadida elektr toki qo‘llanilishi muhim ahamiyat kasb etadi. Tajribalar shuni ko‘rsatadiki, eritmalarni elektrokimyoviy usulda ishlov berish metallarning eritmaga o‘tish jarayonini jadallashtirishning istiqbolli yo‘nalishlaridan biridir. Bu usul kam kapital va ekspluatatsion xarajatlar bilan, shuningdek, atrof-muhitga minimal salbiy ta’sir ko‘rsatgan holda, hamda murakkab tarkibli rudalarni qayta ishlash imkonini yaratadi va mineral xomashyolardan kompleks foydalanish tamoyilini ta’minlaydi.

Tadqiqotlarda oltinni sianidli eritmalar yordamida yuvish jarayonini kuchaytirish uchun pirit, xalkopirit, sfalerit va xalkozin ishtirokida elektr toki qo‘llanilganda samaradorlik ortishi kuzatilgan. Elektr ta’siri natijasida pirit bilan galvanik juftlik hosil bo‘lishi sulfid minerallarning eritish jarayoniga bo‘lgan salbiy ta’sirini kamaytiradi. Sulfidlarning dastlabki oksidlanishi esa oltinning sianidlash jarayonini tezlashtiradi. Turli kimyoviy tarkibdagi eritmalar orqali metallarning eritmaga o‘tish reaksiyalarini elektr toki yordamida amalga oshirish jarayoni — elektrokimyoviy eritish — elektrokimyoviy jarayonlarni o‘rganishda alohida o‘rin tutadi. Tadqiqotchilar, jumladan, Shulgin L.P. tomonidan o‘tkazilgan izlanishlar natijasida o‘zgaruvchan tok ta’sirida eritmalarda kechadigan oksidlanish va qaytarilish jarayonlari, turli birikmalarning erish tezligi hamda bu jarayonlarga ta’sir etuvchi omillar keng tahlil qilingan. Ushbu natijalar elektrokimyoviy usullarni metall ajratish texnologiyalarida qo‘llash istiqbollarini yanada kengaytirishga xizmat qiladi [9].

Yuqorida keltirilgan ishlar hamda boshqa bir qator tadqiqotlarda ko‘rsatilishicha, o‘zgaruvchan yoki impulsli elektr toki ta’sirida eritmalar tarkibida fizik-kimyoviy xossalarning o‘zgarishi kuzatiladi. Bunday o‘zgarishlar eritma tuzilishining, jumladan, solvatar va erituvchi komplekslarning ichki tuzilishidagi o‘zgarishlar bilan bog‘liqdir. So‘nggi yillarda murakkab va qiyin eruvchi rudalardan metallarni eritmaga o‘tkazishning yangi usullari ishlab chiqilmoqda. Biroq, amalda qo‘llanilayotgan an’anaviy usullar sanoat talablariga to‘liq javob bermaydi, chunki ular metall ajratish samaradorligini oshirmaydi, ishlab chiqarilgan har bir tonna metall uchun energiya sarfini kamaytirmaydi hamda texnogen chiqindilar hajmini yetarlicha qisqartirmaydi [10].

Buning asosiy sabablari quyidagicha izohlanadi: birinchidan, noorganik suvli eritmalarda kechadigan kimyoviy jarayonlar yetarlicha o‘rganilmagan, chunki bir komponentli suyuqliklarning tuzilmasi haqidagi ilmiy tushunchalar aniq emas, ko‘p komponentli eritmalar tuzilishini o‘rganish esa yanada murakkab masaladir. Ikkinchidan, eritma hajmida bir vaqtning o‘zida kechuvchi elektrokimyoviy reaksiyalar to‘liq o‘rganilmagan. Uchinchidan, “ruda – texnologiya – metall” zanjirida jarayon bosqichlarini kamaytirish imkonini

ISSN 3030-3907

beruvchi kimyoviy reaksiyalar yetarli darajada tadqiq qilinmagan. Ushbu muammolarni hal etish maqsadida rangli va qimmatbaho metallarni murakkab, qiyin eruvchi hamda texnogen xomashyolardan eritmaga o‘tkazishning elektrokimyoviy usuli ishlab chiqilgan. Bu usul elektrokimyoviy yo‘l bilan yuvuvchi eritmani hosil qilish va metallarni bir vaqtning o‘zida eritmaga o‘tkazish jarayonlarini birlashtiradi. Tadqiqotlarda natriy gidroksidi eritmasida metallarning yuvilishi amalga oshirilgan. Yuvish reagentini hosil qilish manbai sifatida oltingugurt-grafitli kompozit elektrod qo‘llanilgan bo‘lib, uning elektrokimyoviy ishlovi natijasida ishqoriy muhitda natriy tiosulfat va boshqa oltingugurtli natriy birikmalari hosil bo‘lgan [13].

O‘tkazilgan tajribalarda oltingugurt-grafitli elektrod ham anod, ham katod sifatida ishlatilgan. Natijada, laboratoriya sharoitida qo‘shma elektrokimyoviy usul yordamida oltin va kumushni murakkab tarkibli xomashyolardan eritmaga o‘tkazish bo‘yicha samarali natijalar olingan. Bu yondashuv murakkab rudalarni qayta ishlash samaradorligini oshirish, texnologik bosqichlarni qisqartirish va chiqindilar miqdorini kamaytirish imkonini beradi [14].

Ma’lumotlar va natijalar:

Murakkab tarkibli mineral xomashyodan rangli va qimmatbaho metallarni ajratib olish bo‘yicha tajribalar oltingugurt-grafit elektroddan foydalanilgan holda amalga oshirildi. Tadqiqot ob’ekti sifatida oltin va kumush konsentrati tanlandi. Konsentratning kimyoviy tarkibi quyidagicha (massaviy % da): Au – 31 g/t; Ag – 68,5 g/t; Cu – 1,2; Pb – 41,0; Ba – 9,4; Ti – 5,1; Zn – 0,3; Cr – 0,5; Mn – 0,2; Co – 0,1; As – 3,4; Sb – 0,02. Dastlab xomashyo maydalanib, to‘rtlik usulida tanlab olinib, namunalar InnovXSystems rentgen-flüoresans spektrometri yordamida tahlil qilindi. Tahlil natijasida metall va metallmas elementlarning (masalan, xlor, oltingugurt, mishyak, surma) miqdori aniqlanib, ularning o‘rtacha qiymatlari hisoblab chiqildi.

Ishda zarracha o‘lchami -0,16 + 0,074 mm (95 %) bo‘lgan monodispers oltin-kumush konsentrati qo‘llanildi. Uning solishtirma sirt maydoni 4,5 m^2/g ni tashkil etdi. Tajribalar termostatli reaksiya kamerasi ichida joylashtirilgan uch elektrodli tizimda o‘tkazildi. Tizim tarkibiga ishchi elektrod, nisbiy elektrod va yordamchi elektrod kiritilgan. Ishchi elektrod sifatida oltingugurt-grafitli elektrod, nisbiy elektrod sifatida kumush-xlorid elektrod, anod sifatida esa grafit elektrod ishlatildi.

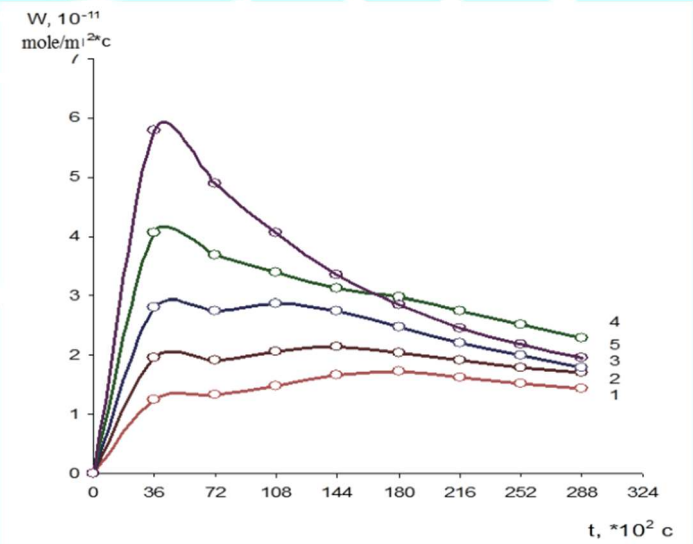
Tajribada 25 g konsentrat namunasi 1:10 nisbatda qattiq va suyuq faza aralashmasi tarzida 250 ml natriy gidroksid (NaOH) eritmasiga solindi. Eritma kerakli konsentratsiyada tayyorlanib, tajriba haroratiga qadar isitildi. Elektr yuvish jarayoni 200 A/m^2 tok zichligida amalga oshirildi. Eritma doimiy aralashtirib turildi, aralashtirgichning aylanish tezligi 480 ayl/min ni tashkil etdi. Tajribalarda

ISSN 3030-3907

NaOH eritmasining quyidagi konsentratsiyalari qo‘llanildi: 0,1 M; 0,3 M; 0,5 M; 1,0 M va 2,0 M.

Oltin, kumush hamda boshqa metallarning suyuq va qattiq fazalardagi miqdori “Contr AA 300” atom-absorbsiya spektrometri yordamida, standart metodikalarga muvofiq aniqlangan. Asosiy material va yuvilgan qoldiqlarning namunalarini tayyorlashda “Anton Paar” kompaniyasining “Multiwave 3000” markali “Microwave Reaction System” qurilmasidan foydalanilgan. Yondosh metallarning tahlili InnovXSystems rentgen-flüoresans spektrometri yordamida amalga oshirilgan. Eritmalar va qattiq namunalar tarkibidagi funksional guruhlarni aniqlash maqsadida IR-spektroskopik tadqiqotlar “Avatar 370” markali IR-Fourier spektrometri yordamida olib borilgan [15].

Tajriba sharoitlarida kompozit elektrod tarkibidagi oltingugurtning oksidlanish reaksiyasi sodir bo‘lishi aniqlangan bo‘lib, bu jarayon natijasida natriy polisulfidlar – ya’ni tiosulfat, sulfit, sulfat, gidrosulfid va sulfid ionlari hosil bo‘ladi. Keltirilgan anionlarning barchasi, sulfat ionidan tashqari, qimmatbaho metallar va ularning hamroh elementlari bilan murakkab anionlar hosil qilish xususiyatiga ega. Bu esa elektrokimyoviy jarayonda metallarning eritmaga o‘tish mexanizmini aniqlash va uni nazorat qilish imkonini beradi.



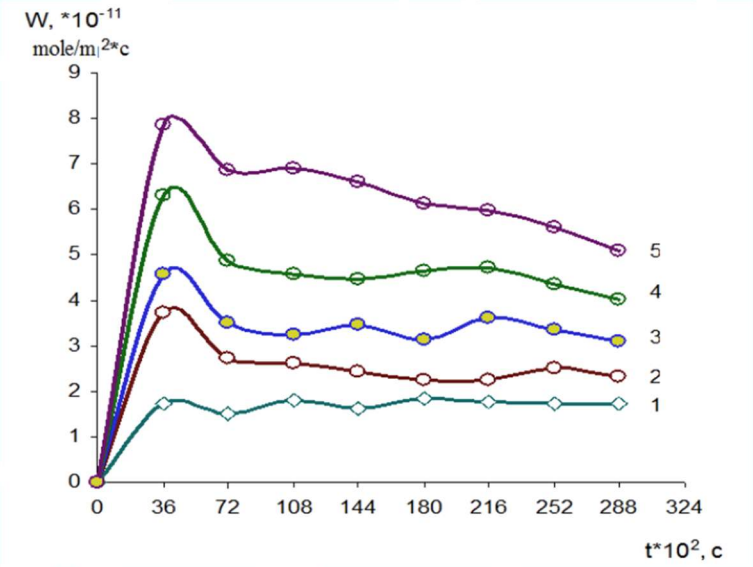
CNaOH: 1 – 0,1 M; 2 – 0,3 M; 3 – 0,5 M; 4 – 1,0 M; 5 – 2,0 M

1-rasm. Turli kontsentratsiyadagi natriy gidroksid eritmalarida oltinning erish tezligining tanlab eritish vaqtiga bog‘liqligi.

Tadqiqot natijalariga ko‘ra, turli kontsentratsiyadagi natriy gidroksid eritmalarida oltinning erish tezligi (1-rasmda) va kumushning erish tezligining eritish vaqti bilan bog‘liqligi (2-rasmda) tahlil qilingan. Grafiklardan ko‘rinib turibdiki, eritishning dastlabki 60 daqiqasida oltin va kumushning erish tezligi keskin ortadi. Shundan so‘ng jarayon tezligi pasayadi, ammo bu pasayish kumush uchun notekis xarakterga ega, ya’ni oltin erish tezligiga nisbatan beqaror o‘zgaradi. Bu holat kumushning eritilish mexanizmida o‘zgarish yuz berayotganini, masalan,

ISSN 3030-3907

eritmadagi ionlarning cho‘kib chiqishi yoki eritmaning tarkibiy strukturasi o‘zgarishi natijasida reaksiya to‘xtashini anglatadi.



CNaOH: 1 – 0,1 M; 2 – 0,3 M; 3 – 0,5 M; 4 – 1,0 M; 5 – 2,0 M

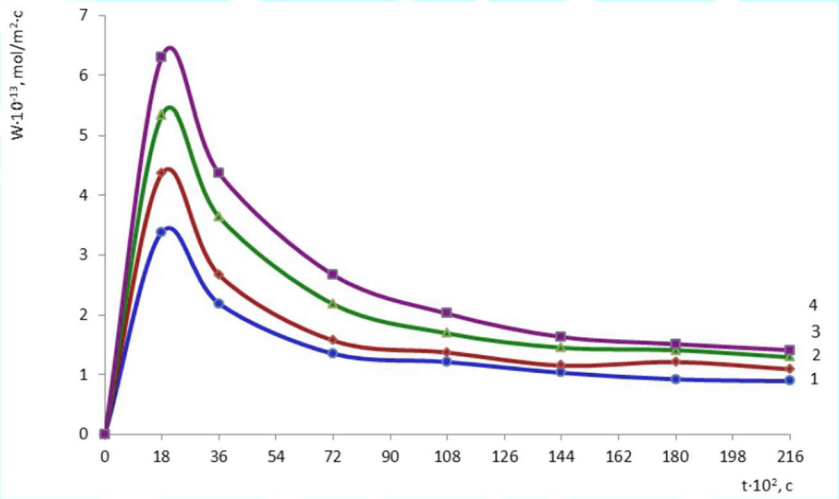
2-rasm. Turli kontsentratsiyadagi natriy gidroksid eritmalarida kumushning erish tezligining tanlab eritish vaqtiga bog‘liqligi.

Shuningdek, erituvchi moddaning hosil bo‘lish reaksiyasi bilan metallarning eritmaga o‘tish reaksiyasining bir hajmda, ya’ni bir vaqtda sodir bo‘lishi murakkab va qiyin eriydigan rudalarni qayta ishlashda nihoyatda samarali usul bo‘lishi mumkinligi aniqlangan. Chunki hozirgi paytda qo‘llanilayotgan metall ajratish texnologiyalarining aksariyati an’anaviy usullar kombinatsiyasiga asoslangan bo‘lib, ular sanoat ishlab chiqarish talablariga to‘liq javob bermaydi. Bunday usullar metallning rudadan to‘liq ajralishini ta’minlamaydi, ishlab chiqarilgan metallning har tonnasiga to‘g‘ri keladigan energiya sarfini kamaytirmaydi hamda texnogen chiqindilar miqdorini yetarli darajada qisqartira olmaydi. Shu sababli, elektrokimyoviy jarayonlar asosida bunday kompleks reaksiyalarni birlashtirgan yangi texnologiyalar ishlab chiqish, yuqori samaradorlikka va ekologik barqarorlikka erishish yo‘lida istiqbolli yo‘nalish hisoblanadi.

Rangli va qimmatbaho metallarni elektrokimyoviy usulda eritish bo‘yicha o‘tkazilgan tajribalarda anod sifatida oltingugurt–grafit elektrod, katod sifatida esa grafit elektrod qo‘llanilgan. Qolgan barcha eritish sharoitlari yuqoridagi tajribalar bilan bir xil bo‘lgan. Ushbu yondashuv metallarning eritmaga o‘tish jarayonini jadallashtirishda elektrokimyoviy ta’sirning rolini aniqlash imkonini beradi. 3- va 4-rasmlarda 0,1 M kontsentratsiyadagi natriy gidroksid eritmasida 50–200 A/m² tok zichligida oltin va kumushning erish tezligining vaqtdan bog‘liqligi keltirilgan. Grafiklardan ko‘rinib turibdiki, eritish jarayonining dastlabki 30 daqiqasida oltin va kumushning erish tezligi keskin oshadi, ya’ni maksimal erish tezligiga avvalgi tajribalarga nisbatan ikki baravar tezroq erishiladi. Bu esa elektrodlarning to‘g‘ri

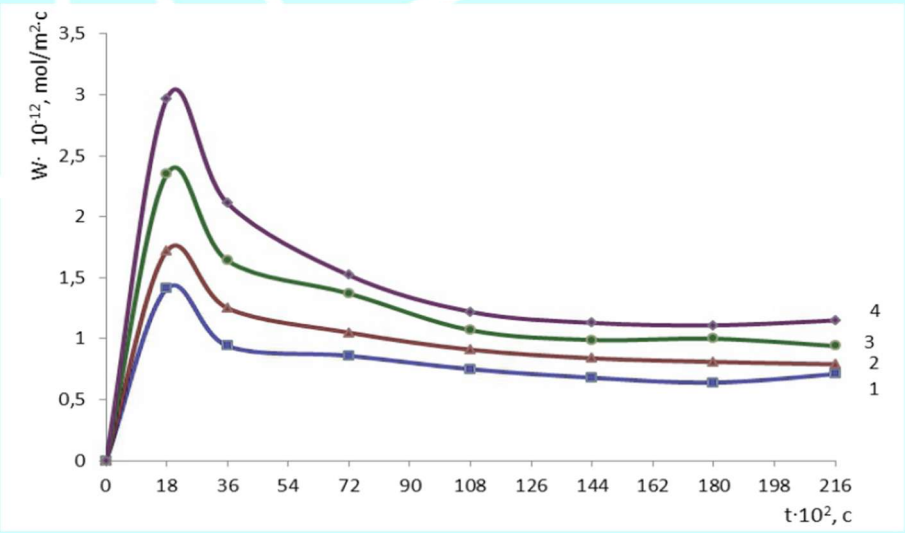
ISSN 3030-3907

tanlanishi elektrokimyoviy eritish samaradorligini sezilarli darajada oshirishini ko‘rsatadi.



3-rasm. Oltinni eritish jarayonlarining maxsus erish tezligi tok zichligiga bog‘liq holda (A/m²): 1 – 50; 2 – 100; 3 – 150; 4 – 200.

Shuningdek, eritish tezligining kamayish jarayoni ham oltin, ham kumush uchun izchil kechadi. Bu holat metallarning eritmaga o‘tish jarayonida elektrokimyoviy sharoitlarning barqarorligi va reaksiyalar kinetikasining muvofiqlashganligini ko‘rsatadi. Natijalar elektrokimyoviy usullar yordamida qimmatbaho metallarni ajratib olish texnologiyalarini takomillashtirishda oltingugurt–grafit anodlarining istiqbolli ekanligini tasdiqlaydi.



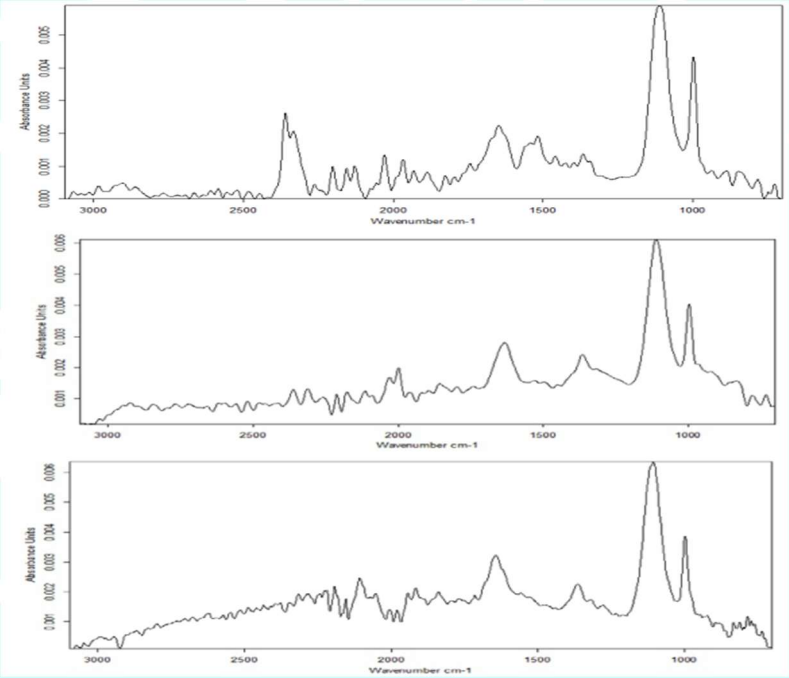
4-rasm. Kumushni eritish jarayonlarining maxsus erish tezligi tok zichligiga bog‘liq holda (A/m²): 1 – 50; 2 – 100; 3 – 150; 4 – 200.

Tok zichligining ortishi metallarning eritmaga o‘tish reaksiyasining maxsus tezligining mos ravishda oshishiga olib kelishi aniqlangan. Shu bilan birga, natriy gidroksid eritmalarida (0,2; 0,5; 1,0; 2,0 va 5,0 M kontsentratsiyalarda) o‘tkazilgan eritish tajribalari ham xuddi shunday natijalarni ko‘rsatgan. Bu holat elektrokimyoviy jarayonlarda tok zichligi metallarning eritmaga o‘tish kinetikasida hal qiluvchi omil ekanligini tasdiqlaydi.

ISSN 3030-3907

Ma’lumki, noorganik suvli eritmalarda kechadigan kimyoviy reaksiyalar mexanizmi yetarlicha chuqur o‘rganilmagan. Chunki yagona komponentli suyuqliklarning tuzilmasi haqidagi ilmiy tasavvurlar ham hali to‘liq shakllanmagan bo‘lsa, ko‘p komponentli eritmalar tuzilishini o‘rganish yanada murakkab ilmiy muammo hisoblanadi. Shu sababli, elektrokimyoviy eritish jarayonida oltingugurt–grafit elektroddan foydalanilganda hosil bo‘ladigan eritmalarning tarkibiy va tuzilma xususiyatlarini o‘rganish alohida ilmiy ahamiyat kasb etadi.

Infraqizil (IR) spektroskopik tahlil natijalariga ko‘ra, eritish tanlab eritish eritmalari murakkab mikrotuzilishga ega bo‘lib, ularning tarkibida natriyning turli xil tio-birikmalari mavjudligi aniqlangan. Masalan, 5-rasmda 0,1 M NaOH eritmasida 150 A/m² tok zichligida, 1, 2 va 3 soat davomida olib borilgan tajribadan so‘ng olingan eritmalarning IR-spektrlari keltirilgan.



5-rasm. Eritish jarayonidan so‘ng 1, 2 va 3 soatlarda olingan eritmalarning IR-spektrlari (yuqoridan pastga qarab tartibda).

Spektr tahlilida $[S_2O_3]^{2-}$ (tiosulfat) guruhi uchun 1113 sm^{-1} va 996 sm^{-1} diapazonlardagi cho‘qqilar, shuningdek $[SO_3]^{2-}$ (sulfit) guruhi uchun ham 1113 sm^{-1} va 996 sm^{-1} diapazonlardagi tebranish chiziqlari aniqlangan. Titrometrik tahlil natijalari ham eritma tarkibida tiosulfat va sulfit ionlarining birgalikda mavjudligini tasdiqlagan.

Bundan tashqari, IR-spektrlarning xarakterli cho‘qqilari eritish jarayoni davomida eritmalarning molekulyar tarkibida sezilarli o‘zgarishlar yuz berishini ko‘rsatadi. Bu esa elektrokimyoviy eritish jarayonida oltingugurt–grafit elektrodlar ta’sirida hosil bo‘ladigan eritmalarda murakkab oksidlanish-qaytarilish va kompleks hosil bo‘lish reaksiyalari kechayotganini anglatadi.

XULOSA

ISSN 3030-3907

O‘tkazilgan tadqiqotlar natijasida qimmatbaho metallarni murakkab va qiyin eruvchi xomashyolardan ajratib olish uchun ekologik xavfsiz elektrokimyoviy eritish texnologiyasi ishlab chiqildi. Oltingugurt–grafit kompozit elektrodlar qo‘llanilganda natriy gidroksid eritmalarida metallarning eritmaga o‘tish jarayoni samarali kechishi aniqlandi. Tajriba natijalari shuni ko‘rsatdiki, tok zichligining ortishi bilan oltin va kumushning eritmaga o‘tish tezligi muntazam ravishda oshadi. IR-spektroskopik tahlillar natijasida eritma tarkibida tiosulfat va sulfit ionlarining hosil bo‘lishi qayd etildi, bu esa metallar bilan kompleks hosil bo‘lish mexanizmini tasdiqlaydi. Ushbu yondashuv metall ajratish jarayonining ekologik xavfsizligini, energiya tejamkorligini va texnologik samaradorligini ta’minlaydi hamda texnogen chiqindilarni kamaytirishga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI.

1. A. Nag, M. Singh, R. Ghosh. “Recent Advances in the Recycling of Precious Metals Using Emerging Electrochemical Approaches” // Hydrometallurgy Review, 2026.

2. Abdisamievich, S. A., Mamarasulovich, R. U., & Azamatugli, K. O. (2025). DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR OBTAINING ALUMINA FROM LOCAL RAW MATERIALS. *Sanoatda raqamli texnologiyalar/Цифровые технологии в промышленности*, *3*(2), 105-111.

3. Abdisamiyevich, S. A., Xudaynazar o‘g‘li, E. U., Mamarasulovich, R. U., & Ilyosjon o‘g‘li, X. I. (2025). ROASTING OF ALUMINA-CONTAINING MATERIAL IN A ROTARY KILN. *GREAT BRITAIN-SCIENTIFIC REVIEW OF THE PROBLEMS AND PROSPECTS OF MODERN SCIENCE AND EDUCATION*, *1*(1), 22-28.

4. J. A. Tamayo, R. Ramírez, P. Suárez. “Effect of Ammoniacal Thiosulfate Solution Composition on Gold Leaching: Electrochemical Study” // Hydrometallurgy, 2025.

5. K. J. Chaka, J. Moyo, L. Sibanda. “Thiosulfate Leaching in Carbonaceous Gold-Bearing Ores: Better Recovery over Cyanide” // Scientific Reports, 2024.

6. K. Li, Q. Li, B. Xu, Y. Yang, T. Jiang. “An Electrochemical Study of Gold Dissolution in Thiosulfate Solution with Cobalt-Ammonia Catalysis” // Metals, 2022, 12(2): 317.

7. N. Wei, Y. He, G. Zhang, J. Li, F. Zhang. “Recycling and Separation of Valuable Metals from Spent Cathode Sheets by Single-Step Electrochemical Strategy” // Separations, 2025, 12(7): 178.

8. O‘G‘Li, T. S. S., Mamarasulovich, R. Z. U. B., & O‘G‘Li, E. U. X. (2024). KALSIY TARKIBLI QO ‘SHIMCHALAR TARKIBIDAGI ALYUMOGETIT VA BOKSITDAN GLINOZEMNI AJRATIB OLISH. *Строительство и образование*, *3*, 203-210.

ISSN 3030-3907

9. P. S. Dhapola, A. Sharma, S. Bisht. “Recent Advancements in Sustainable Approaches to Precious Metal Recovery Using Deep Eutectic Solvents” // Journal of Clean Metallurgy, 2025.
10. R. Herrala, E. Haapala, J. Laitinen. “Selective Gold Recovery with Electrochemically Assisted Redox from Multimetal Solutions” // Minerals Engineering, 2025.
11. Ruziev, U. M. (2025). Enhancing Solid–Liquid Separation In Nitric Acid Leaching Of Low-Grade Alumina Ores.
12. Ruziev, U. M., & Boymurodov, N. A. (2025). MEXANIK FAOLLASHTIRISHNING GLINOZYOM AJRATIB OLISHGA TA’SIRI.
13. S. Gulliani, F. Kumar, D. Mehta. “Recovery of Metals and Valuable Chemicals from Waste Electrical and Electronic Equipment: Hydrometallurgy and Sustainability” // Sustainable Materials and Technologies, 2023.
14. S. Mourdikoudis, L. Chen, V. Khan. “Physicochemical versus Electrochemical Technologies for Metal Extraction — A Critical Review” // Chemical Methods & Technology, 2025.
15. V. Rai, D. Liu, D. Xia, Y. Jayaraman, J-C. Gabriel. “Electrochemical Approaches for the Recovery of Metals from Electronic Waste: A Critical Review” // Recycling, 2021, 6: 53.
16. Khojakulov, A., Ruziyev, U., Boymurodov, N., Shernazarov, I., Mashaev, E., & Shoyimova, K. (2024). Research and determination of parameters for extracting valuable components from technological waste. BIO Web of Conferences, 149, 01049. EDP Sciences.
17. Shodiev, A., Boymurodov, N., & Ravshanov, A. (2023). Study of the technology for extracting tungsten in the form of a semi-finished product and metallic form from industrial waste. Sanoatda raqamli texnologiyalar / Цифровые технологии в промышленности, 1(2), 87–91.
18. Xasanov, A. S., Boymurodov, N. A., & Xo‘jakulov, A. M. (2025). Metallurgiya sanoati chiqindilari tarkibidan mass-spektrometrda volframni ajralishi metodikasi ilmiy tahlili. International Journal of Advanced Technology and Natural Sciences, 6(1), 60–67.
19. Turobov, S. N., Boymurodov, N. A., & Xo‘jakulov, A. M. (2024). Texnogen chiqindilardan volframni chuqur boyitish texnologik usullari va samaradorligini tadqiq qilish. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 2(4-1), 26–30. https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.2.4-1.2024.12

ISSN 3030-3907