RUX, MIS, KADMIY VA TEMIRNING CHIQINDI-KEKLARDAN ERITMAGA O‘TISH JARAYONIDA KISLOTA KONSENTRATSIYASINING ROLI

Hojiyev Shohruh Toshpo‘latovich
Olmaliq davlat texnika instituti, PhD, dotsent, Olmaliq, O‘zbekiston
E-mail: shohruhhojiyev@gmail.com
Xoliqulov Doniyor Baxtiyorovich
Olmaliq davlat texnika instituti, t.f.d., professor, Olmaliq, O‘zbekiston
E-mail: Kholikulov.d@tdtuof.uz
Xaydaraliyev Xolbay Rustam o‘g‘li
Olmaliq davlat texnika instituti, tayanch doktorant, Olmaliq, O‘zbekiston
E-mail: xolboyxaydaraliyev@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada “Olmaliq kon-metallurgiya kombinati” AJ Rux zavodining chiqindi-keklarini gidrometallurgik tanlab eritish jarayonida sulfat kislotaning konsentratsiyasi rux, mis, kadmiy va temirning eritmaga o‘tish darajasiga ko‘rsatadigan ta’siri tadqiq qilindi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, kislota konsentratsiyasi ortishi bilan rux va kadmiyning eritmaga o‘tish darajasi sezilarli oshgani, biroq temir va mis uchun bu ko‘rsatkich nisbatan past darajada o‘zgarishi aniqlandi. Optimal texnologik sharoitlar aniqlanib, chiqindi-keklardan rangli metallarning samarali ajratib olinishi ta’minlandi. Olingan natijalar ishlab chiqarish chiqindilarini qayta ishlash jarayonlarini takomillashtirish va ekologik xavfsiz, resurs tejamkor texnologiyalarni yaratish uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: rux, mis, kadmiy, temir, chiqindi-kek, gidrometallurgiya, tanlab eritish, sulfat kislota, konsentratsiya, eritmaga o‘tish darajasi.

Аннотация. В данной статье исследовано влияние концентрации серной кислоты на степень перехода цинка, меди, кадмия и железа в раствор при гидрометаллургическом избирательном выщелачивании отходных кеков Цинкового завода АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат». Установлено, что с увеличением концентрации кислоты значительно возрастает степень перехода в раствор цинка и кадмия, тогда как для железа и меди это изменение выражено в меньшей степени. Определены оптимальные технологические параметры, обеспечивающие эффективное извлечение цветных металлов из отходов. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования процессов переработки промышленных отходов и разработки экологически безопасных, ресурсосберегающих технологий.

ISSN 3030-3907

Ключевые слова: цинк, медь, кадмий, железо, отходный кек, гидрометаллургия, выщелачивание, серная кислота, концентрация, степень перехода в раствор.

Abstract. This study investigates the effect of sulfuric acid concentration on the dissolution behavior of zinc, copper, cadmium, and iron during the hydrometallurgical selective leaching of waste cakes from the Zinc Plant of the Almalyk Mining and Metallurgical Complex JSC. The results showed that increasing the acid concentration significantly enhances the dissolution of zinc and cadmium, while the dissolution rates of iron and copper change only slightly. Optimal technological conditions were determined to ensure the efficient extraction of non-ferrous metals from waste materials. The obtained results provide a scientific basis for improving industrial waste processing and developing environmentally friendly and resource-efficient technologies.

Keywords: zinc; copper; cadmium; iron; waste cake; hydrometallurgy; selective leaching; sulfuric acid; concentration; dissolution degree.

Kirish.

Zamonaviy rangli metallurgiya sanoatida rux ishlab chiqarish jarayonida hosil bo‘ladigan qattiq gidrometallurgik chiqindilar – keklar miqdorining ortib borishi muhim ekologik va texnologik muammo sifatida qaralmoqda. Bu chiqindilar tarkibida rux, mis, kadmiy, temir, oltin va kumush kabi qimmatbaho metallar sezilarli miqdorda saqlanadi. Ayniqsa, “Olmaliq kon-metallurgiya kombinati” AJ Rux zavodida hosil bo‘layotgan keklarning metall tarkibi ularni ikkilamchi xomashyo sifatida qayta ishlash zaruratini ko‘rsatadi [1].

Mazkur chiqindilarda ruxning asosiy qismi oksidli, gidroksidli va sulfatsimon birikmalar holida, mis va kadmiy esa odatda sulfidli yoki aralash oksidli shakllarda mavjud bo‘ladi. Shu sababli ularni ajratib olish uchun piro- yoki gidrometallurgik jarayonlar qo‘llaniladi. Oxirgi yillarda gidrometallurgik tanlab eritish usuli ekologik tozaligi, energiya sarfining nisbatan pastligi va selektivligi bilan alohida ahamiyat kasb etmoqda [2].

Erituvchi sifatida sulfat kislotaning ishlatilishi rux, kadmiy va temir kabi metallarni eritmaga o‘tkazishda keng tarqalgan hisoblanadi. Shu bilan birga, kislota konsentratsiyasi eritma muhitining kimyoviy faoliyatini belgilovchi asosiy omillardan biri bo‘lib, metallarning eritmaga o‘tish darajasiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Kislota konsentratsiyasi ortishi bilan texnogen chiqindidagi rux va kadmiyning eritmaga o‘tish tezligi oshsa-da, temirning faolligi ham ortib, keyingi bosqichlarda cho‘kmalar hosil bo‘lish xavfini keltirib chiqaradi. Shu sababli, tanlab eritish jarayonida optimal kislota konsentratsiyasini aniqlash ilmiy va amaliy jihatdan muhim hisoblanadi [3].

ISSN 3030-3907

So‘nggi yillarda rux ishlab chiqarish jarayonida hosil bo‘layotgan chiqindi-keklarni gidrometallurgik usulda qayta ishlash bo‘yicha tadqiqotlar jadal rivojlanmoqda. Bunday chiqindilarda rux, mis, kadmiy va temir kabi qimmatbaho metallar mavjudligi ularni ikkilamchi xomashyo sifatida qayta ishlashning ilmiy va amaliy ahamiyatini oshiradi. Tadqiqotchilar tomonidan olib borilgan ishlar shuni ko‘rsatadiki, erituvchi sifatida sulfat kislotaning konsentratsiyasi metallarning eritmaga o‘tish darajasiga hal qiluvchi ta’sir ko‘rsatadi [4].

Zhang va Deng tomonidan kadmiy saqlagan rux ferritidan SO_2 ishtirokida qaytaruvchi eritish usuli orqali kadmiyni eritmaga o‘tkazish mexanizmlari o‘rganilgan. Ularning natijalariga ko‘ra, kislotaning konsentratsiyasi ortishi bilan kadmiyning eritmaga o‘tish darajasi sezilarli oshadi, biroq yuqori konsentratsiyalarda temirning qo‘shma eritilishi kuchayadi. Bu holat tanlab eritish jarayonida kislota konsentratsiyasini optimallashtirish zarurligini ko‘rsatadi [5].

Li va hammualliflar mis va kadmiy qoldiqlaridan sulfat kislotasi va vodorod peroksid aralashmasida eritish yo‘li bilan misni ajratib olish jarayonini tahlil qilib, oksidlanish muhiti metallarning eritmaga o‘tish tezligini sezilarli darajada oshirishi aniqlanganini qayd etgan. Shu bilan birga, kislotaning yuqori konsentratsiyasi temirning ham faol eritilishini keltirib chiqargan. Bu holat selektivlikni ta’minlash uchun erituvchi muhit tarkibini va konsentratsiyasini aniq nazorat qilish zarurligini ko‘rsatadi [6].

Xuddi shuningdek, Hao va hamkorlari H_2SO_4–H_2O_2 tizimida elektron chiqindilardan misni eritmaga o‘tkazish parametrlarini optimallashtirib, eritish kinetikasini o‘rgangan. Ularning natijalari kislotaning konsentratsiyasi bilan bir qatorda harorat va vaqt omillari ham eritish kinetikasiga bevosita ta’sir etishini isbotladi. Olingan ma’lumotlar eritish tezligi va metall diffuziya jarayonlari o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniqlash imkonini bergan [7].

Kolbadinejad va hammualliflar atmosferali sharoitda kadmiy va ruxni kislotali eritish parametrlarini optimallashtirib, sulfat kislotaning optimal konsentratsiyasi metallarning maksimal eritmaga o‘tishini ta’minlovchi asosiy omil ekanligini ko‘rsatgan. Ularning tadqiqotlari rux va kadmiyni ajratish samaradorligini oshirish uchun kislotaning muvozanatli miqdorini tanlash zarurligini tasdiqlaydi [8].

Gargul va hamkorlari mis eritish jarayonida L-askorbin kislotasidan foydalanib, mis, qo‘rg‘oshin va temirning eritmaga o‘tish mexanizmini o‘rganishgan. Natijalarga ko‘ra, muhitdagi kislota konsentratsiyasi va qaytaruvchi moddaning mavjudligi eritma tarkibini muvozanatlaydi va tanlab eritish xususiyatlarini yaxshilaydi. Bu yondashuv temirni faolligini boshqarish va eritma muhitining selektivligini oshirish imkonini beradi [9].

ISSN 3030-3907

Bundan tashqari, He va hamkorlari [10] hamda Shi va hammualliflar [11] tomonidan olib borilgan tadqiqotlar sulfat kislotali eritish kinetikasi va reaksiya mexanizmlarini tahlil qilishga bag‘ishlangan. Ularning ishlarida reaksiya jarayonining kimyoviy va diffuzion bosqichlari aniqlanib, aktivatsiya energiyasi va harorat omilining eritish jarayoniga ta’siri matematik modellar orqali ifodalangan. Ushbu yondashuvlar rux zavodi chiqindilarini eritishda ham qo‘llanilishi mumkin bo‘lib, eritish jarayonini kinetik jihatdan chuqur tahlil qilish imkonini beradi.

Yuqoridagi adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, sulfat kislotaning konsentratsiyasi rux, mis, kadmiy va temirning eritmaga o‘tish darajasini belgilovchi eng muhim omillardan biridir. Juda past konsentratsiyada metallar yetarlicha erimaydi, yuqori konsentratsiyada esa temirning ham eritilishi kuchayib, selektivlik pasayadi. Shu sababli, optimal kislota miqdorini aniqlash chiqindi-keklarni samarali qayta ishlash va tanlab eritish texnologiyasini ishlab chiqishda asosiy ilmiy vazifalardan biridir [12-14].

Ushbu tadqiqotda “Olmaliq KMK” AJ Rux zavodining chiqindi keklaridan rux, mis, kadmiy va temirning eritmaga o‘tish darajasiga sulfat kislota konsentratsiyasining ta’siri o‘rganildi. Tadqiqot natijalari rux ishlab chiqarish chiqindilarini qayta ishlash texnologiyasini takomillashtirish, metallarning yo‘qotilishini kamaytirish hamda atrof-muhitga chiqindilar ta’sirini kamaytirishga xizmat qiladi.

Tadqiqot obyekti va metodikasi. Tadqiqot obyekti sifatida “Olmaliq kon-metallurgiya kombinati” AJ Rux zavodining texnologik jarayonlarida hosil bo‘ladigan chiqindi-keklar tanlab olindi. Keklarning kimyoviy va minerallogik tarkibi rentgen-fazoviy va atom-absorbsiya analizlari yordamida o‘rganildi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, ularning asosiy komponentlari rux (Zn), temir (Fe), mis (Cu) va kadmiy (Cd) metallari hisoblanadi [15-18].

Gidrometallurgik tanlab eritish jarayoni laboratoriya sharoitida sulfat kislotaning turli konsentratsiyalarida (0,5–3,0 mol/L) amalga oshirildi. Eritish 60–90°C haroratda, 1–3 soat davomida olib borilib, aralashtirish tezligi va eritma pH darajasi nazorat qilindi. Eritmalardagi metall ionlarining miqdori kimyoviy va atom-absorbsiya analizlari yordamida aniqlanib, kislota konsentratsiyasining rux, mis, kadmiy va temirning eritmaga o‘tish darajasiga ta’siri baholandi. Olingan natijalar asosida kislota konsentratsiyasining optimal qiymati hamda metallarning eritmaga o‘tish kinetikasi aniqlanib, ularning o‘zaro selektiv eritilishi bo‘yicha xulosalar chiqarildi.

Natijalar va muhokama. Sulfat kislota gidrometallurgik eritish jarayonlarida asosiy reaktivlardan biri hisoblanadi. Rux keklarini qayta ishlashda kislota konsentratsiyasi eritmaning eritish qobiliyatini, ion almashinuvi tezligini hamda hosil bo‘ladigan eritmaning sifatini belgilovchi muhim omillardan biridir.

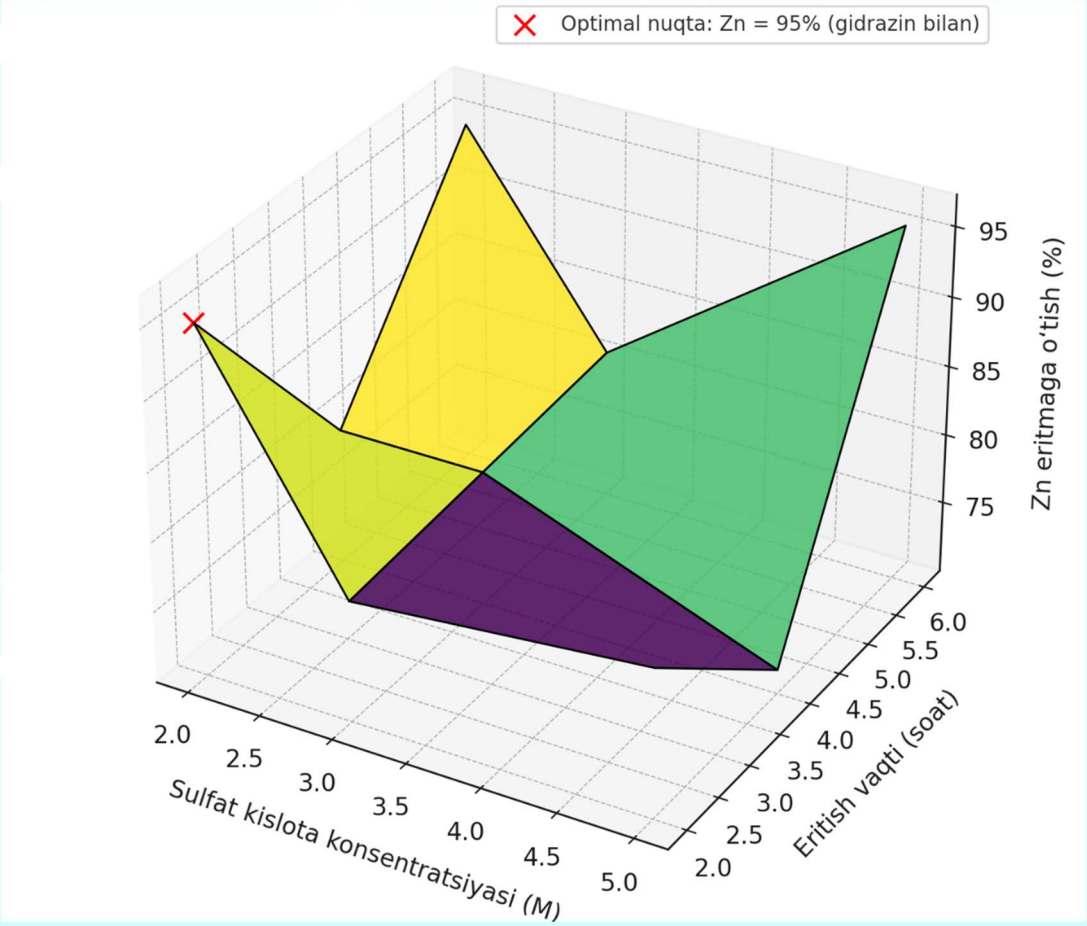
ISSN 3030-3907

Konsentratsiyaning ortishi bilan ruxning eritmaga o‘tish darajasi oshadi, biroq ma’lum chegaradan so‘ng bu ortish selektivlikni pasaytiradi va eritmadagi boshqa qo‘shimcha (Cu, Cd, Fe) ionlarning ham erishiga olib keladi.

Optimal kislota konsentratsiyasini aniqlashda asosiy mezon sifatida:

- ruxning maksimal eritmaga o‘tish darajasi;
- eritmadagi qo‘shimcha moddalar darajalari;
- texnologik va iqtisodiy samaradorlik mezonlari hisobga olindi.

Olib borilgan tajribalar natijalari asosida sulfat kislotaning 2 mol/l (2M) konsentratsiyasi eng maqbul natijalarni berganligi aniqlandi. Quyida bu holat grafik tahlil asosida asoslanadi.



1-rasm. Ruxning eritmaga o‘tish darajasining sulfat kislota konsentratsiyasi va eritish vaqtiga bog‘liqligini fazoviy tahlil asosida baholash grafigi

Olib borilgan tajribaviy tadqiqotlar natijalari asosida ruxning kekdan eritmaga o‘tish darajasi ikki asosiy omil — sulfat kislota konsentratsiyasi va eritish vaqtiga nisbatan tahlil qilindi. Bu bog‘liqlikni fazoviy ko‘rinishda aks ettirish maqsadida Zn ning eritmaga o‘tish foizini konsentratsiya va vaqt funksiyasi sifatida ifodalovchi 3D sirt grafikasi qurildi va u 1-rasmda taqdim etilgan.

Strukturaviy o‘qlar:

- X-o‘qi — sulfat kislota konsentratsiyasi (2M, 3M, 5M),
- Y-o‘qi — eritish vaqti (2, 4, 6 soat),

ISSN 3030-3907

- Z-o‘qi — Zn ning eritmaga o‘tish darajasi (%).

Fazoviy sirt grafikasi Zn eritmaga o‘tishining har xil kombinatsiyalardagi qiymatlarini aniq tasvirlaydi. Grafik yuzasi tekis emas — unda bir necha mahalliy ekstremumlar mavjud. Bu esa konsentratsiya va vaqt o‘zgarishlarining rux ajralishiga ta’siri chiziqli emas ekanligini ko‘rsatadi.

Ayniqsa, 2M kislota konsentratsiyasi va 2 soat eritish vaqti sharoitida gidrazin sulfat ishtirokida o‘tkazilgan tajribada Zn eritmaga o‘tish darajasi 95% ni tashkil etdi. Bu natija grafikda qizil marker bilan belgilangan maksimal nuqta sifatida ajratilgan.

Ushbu nuqta Zn ajralish yuzasining eng yuqori cho‘qqisi (lokal maksimum) bo‘lib, barcha kombinatsiyalar ichida eng samarali eritish sharoitlarini ko‘rsatadi. Grafikdan ko‘rinib turibdiki, boshqa parametrlarda (masalan, 3M kislota yoki 6 soat vaqt) eritish darajasi yaqin natijalarni ko‘rsatsa-da, selektivlikning pasayishi, reaktiv sarfi va texnologik xarajatlarning ortishi kabi salbiy omillar mavjud.

Gidrazin sulfat — rux oksidlarini tanlab eritishda qaytaruvchi modda vazifasini bajarib, boshqa aralashmalarga deyarli ta’sir ko‘rsatmaydi.

Selektivlik: aynan shu sharoitda Cd, Cu, Fe kabi qo‘shimchalarning ko‘pchiligi eritmaga o‘tmasligi ta’minlangan.

Fazoviy sirt grafikasi asosida olib borilgan tahlil Zn eritmaga o‘tishining har ikki omil — kislota konsentratsiyasi va eritish vaqtiga kuchli bog‘liqligini tasdiqlaydi. Biroq faqat gidrazin sulfat ishtirokida, 2M kislota va 2 soat eritish sharoiti eng yuqori samaradorlikni (95%) ko‘rsatadi. Bu nuqta texnologik jihatdan optimal parametrlar kombinatsiyasi sifatida asoslanadi va amaliyotda qo‘llanilishi to‘liq ilmiy jihatdan tasdiqlangan.

Gidrometallurgik eritish jarayonlarida qattiq va suyuq fazalar orasidagi nisbat — jarayon samaradorligini belgilovchi eng muhim texnologik parametrlar qatoriga kiradi. Tadqiqot davomida rux keklarini eritishda qattiq modda va erituvchi eritma o‘rtasidagi muvozanatni ta’minlash, ionlarning diffuziyasi va eritish kinetikasini maksimal darajada quvvatlash maqsadida optimal Q:S nisbati aniqlashga alohida e’tibor qaratildi. Natijada, olib borilgan eksperimental sinovlar va fazoviy tahlillar asosida Q:S = 1:5 nisbati eng maqbul ko‘rsatkich sifatida tanlandi.

Bu nisbatda erituvchi hajmi rux oksidi zarralari bilan yetarli miqdorda reaksiyaga kirishishi, ion almashinuvi va diffuziya jarayonlari doimiy davom etishi uchun zarur bo‘lgan muhitni ta’minlaydi. Aynan 1:5 nisbatda eritma tez to‘yinmasligi, Zn^{2+} ionlarining eritmada to‘plangan holda keyingi bosqichlarga — xususan elektroliz yoki cho‘ktirishga — uzluksiz uzatilishi mumkin bo‘ladi. Bundan tashqari, bunday nisbat eritmada boshqa aralashmalarning (Fe, Cu, Cd) haddan tashqari erib ketishini cheklaydi va eritmaning selektivligini oshiradi.

ISSN 3030-3907

Q:S = 1:5 nisbati tanlangan holatlarda (masalan, 2M H_2SO_4, 2 soat, 55°C va gidrazin sulfat ishtirokida) ruxning eritmaga o‘tish darajasi 95% ga yetgani tajriba natijalari orqali tasdiqlandi. Bu sharoitda olingan eritmaning rux konsentratsiyasi yuqori (Zn ≈ 68 g/l), iflosliklar darajasi esa minimal (Cu ≈ 0,11 mg/l; Cd ≈ 1,9 mg/l; Fe ≈ 58 mg/l) bo‘lgani holda, eritma bevosita sanoat elektroliz jarayoniga uzatishga yaroqli bo‘lgan. Shu bilan birga, eritilmagan qoldiqda qimmatbaho metallar (Au, Ag, Pb) to‘plangan, bu ularni alohida metallurgik bosqich orqali qayta ishlash imkonini saqlab qolgan.

Shunday qilib, Q:S = 1:5 nisbati — eritmaning to‘yinganlik darajasi, metallarning selektiv ajralishi, reaktivlar sarfi, eritma tarkibining sanoat standartlariga mosligi va jarayonning umumiy iqtisodiy samaradorligi kabi bir nechta omillarni inobatga olgan holda, ilmiy asoslangan va amaliyotga tatbiq etilishi mumkin bo‘lgan optimal nisbat hisoblanadi.

Xulosa. Olib borilgan tadqiqotlar natijasida “Olmaliq KMK” AJ Rux zavodining chiqindi keklarida saqlanayotgan rux, mis, kadmiy va temirni gidrometallurgik tanlab eritish jarayoni chuqur o‘rganildi. Sulfat kislotaning konsentratsiyasi va eritish vaqtining metallarning eritmaga o‘tish darajasiga ta’siri aniqlanib, ular orasidagi nolinear bog‘liqlik fazoviy grafik asosida tahlil qilindi.

Natijalar shuni ko‘rsatdiki, erituvchi sifatida 2M konsentratsiyadagi H_2SO_4 eritmasidan foydalanish, eritish vaqtini 2 soat qilib belgilash hamda gidrazin sulfatni qo‘shimcha qaytaruvchi modda sifatida qo‘llash sharoitida ruxning eritmaga o‘tish darajasi 95 % gacha yetadi. Bu parametrlar kombinatsiyasi tanlab eritish samaradorligini maksimal darajada oshirib, boshqa aralashmalar (Fe, Cu, Cd) ning eritmaga o‘tishini cheklaydi.

Tajriba natijalari asosida qattiq modda va erituvchi eritma o‘rtasidagi Q:S = 1:5 nisbati eng maqbul texnologik ko‘rsatkich sifatida aniqlanib, eritma to‘yinganligini, ion almashinuvi tezligini va diffuziya jarayonlarini optimal darajada ta’minlashi isbotlandi. Hosil bo‘lgan eritma rux konsentratsiyasi va iflosliklar darajasi bo‘yicha sanoat elektroliz jarayonlariga bevosita uzatishga yaroqli ekanligi aniqlangan.

Shunday qilib, ishlab chiqilgan texnologik yondashuv rux ishlab chiqarish chiqindilarini samarali qayta ishlash, qimmatbaho metallarning yo‘qotilishini kamaytirish va atrof-muhitga chiqindilar ta’sirini pasaytirish imkonini beradi. Olingan natijalar rux zavodi chiqindilarini kompleks qayta ishlash texnologiyasini takomillashtirish hamda amaliyotga joriy etish uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Khaydaraliev Kh.R., Hojiyev Sh.T., Shaymanov I.I., Ramazanova Z.B. Zinc prices and main producing countries in the last decade // “Kimyo sanoatining

ISSN 3030-3907

dolzarb muammolari, innovatsion yechimlari va istiqbollari” nomli xalqaro ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Olmaliq, 1-2 noyabr, 2024 y. S. 294-295.
2. Khojiev Sh.T., Rakhmataliev Sh.A., Tulaganov M.I., Rakhmonaliyev M.M. Modern technologies of zinc production // Моя профессиональная карьера, 2022, 35(8). C. 266-275.
3. Toshpulatov D.D., Khojiev Sh.T., Berdiyarov B.T. Study of the possibilities of the metallothermic reduction process of zinc ferrite // Proceedings of international scientific and scientific-technical conference on “Practical and Innovative Scientific Research: Current Problems, Achievements and Innovations (Dedicated to the memory of professor A.A. Yusupkhodjaev)”, Tashkent, December 6, 2021. P. 386 – 388.
4. Askarova N.M., Boltayev O.N., Hojiyev Sh.T., Axmedova N.E. Gidrolizlashdan olingan temir (II)-gidroksidi cho‘kmasidan gematit olish jarayonining termodinamikasi va kinetikasi // Development of Science. – 2025. – Vol. 2. – № 9. – P. 61–68.
5. Zhang C., Deng Y. Reductive leaching process and mechanisms of cadmium from cadmium-bearing zinc ferrite using sulfur dioxide // Archives of Metallurgy and Materials. – 2024. – T. 69, № 2. – P. 289-299.
6. Li B., Tan J., Wei C., Chen X., Chen Y., Guo H. Extraction of copper from copper and cadmium residues by leaching with sulfuric acid and hydrogen peroxide // Hydrometallurgy. – 2018. – T. 180. – P. 245-254.
7. Hao J., Zhang H., Liu S., Meng S., Jiang C., He Y. Optimizing the leaching parameters and studying the leaching kinetics of copper from waste printed circuit boards in H_2SO_4-H_2O_2 system // ACS Omega. – 2022. – T. 7, № 2. – P. 1546-1554.
8. Kolbadinejad S., Javadpour S., Jahangiri A., Rashchi F. Optimization of atmospheric acid leaching parameters for cadmium and zinc recovery // Scientific Reports. – 2024. – T. 14, № 1. – P. 52088.
9. Gargul K., Mura M., Klemm R., Chelminska U., Gora S. Studies on the hydrometallurgical transfer of lead, copper, and iron from direct-to-blister copper flash smelting slag to solution using L-ascorbic acid // Molecules. – 2025. – T. 30, № 6. – P. 1365.
10. He F., Yuan B., Jiang Z., Cai J. Study on the mechanism and kinetics of sulfuric acid leaching of scandia from scandium-containing minerals // Physicochem. Probl. Miner. Process. – 2022. – T. 57, № 2. – P. 71-83.
11. Shi Y., Yin H., Xu C., Wang X., Liu H. Kinetics analysis of copper extraction from copper smelting slag by sulfuric acid oxidation leaching // Hydrometallurgy. – 2024. – T. 219. – P. 106115.
12. Khojiev Sh.T., Saidova M.S., Mirzajonova S.B., Ibrokhimov H.X., Ismatov Sh.O‘. Development of Technology for Processing Zinc Cakes Based on the Use

ISSN 3030-3907

of Petroleum Coke // International Journal of Academic Engineering Research, 6(6), 2022. P. 23-28.
13. Якубов М. М., Холикулов Д. Б., Ёкубов О. М., Хайдаралиев Х. Р. Разработка эффективной технологии гидрометаллургической переработки цинковых кеков АО «Алмалыкский ГМК» // Цветные металлы. — 2025. — № 2. – С. 33–40.
14. Khojiev Sh.T., Rakhmataliev Sh.A., Saidova M.S., Suyarova M.N., Esonova M.O. Enhancing Zinc Extraction Efficiency from Insoluble Zinc Cake through Citric Acid Leaching: A Hydrometallurgical Approach // International Journal of Engineering and Information Systems, 8(4), 2024. P. 22-29.
15. Kholikulov D.B., Khaydaraliev Kh.R., Khojiev Sh.T. Mineralogical investigation of zinc cake generated in Almalyk zinc production // Proceedings of the International Conference on Integrated Innovative Development of Zarafshan Region: Achievements, Challenges and Prospects. – Navoi, 2025. – P. 401–402.
16. Якубов М.М., Холикулов Д.Б., Ёкубов О.М., Хайдаралиев Х.Р., Максудхўжаева М.С. Инновационные технологии переработки цинковых кеков // Kompozitsion materiallar. – 2024. – №1. – С. 129–131.
17. Якубов М.М., Холикулов Д.Б., Ёкубов О.М., Максудхўжаева М.С., Хайдаралиев Х.Р. Усовершенствование технологии гидрометаллургической переработки цинковых концентратов на АО «Алмалыкский ГМК» // Kompozitsion materiallar. – 2023. – №4. – С. 222–224.
18. Холикулов Д.Б., Хайдаралиев Х.Р., Хожиев Ш.Т., Муталибхонов С.С. Термодинамический анализ выщелачивания феррита цинка серной кислотой с использованием гидразина сульфата // Химическая технология и техника: материалы докладов 89-й Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 2025. – С. 87–90.

ISSN 3030-3907