ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME - 6

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 6

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

TEXNOGEN CHIQINDILARNI KOMPLEKS QAYTA ISHLASH VA ULARDAN QIMMATLI METALLARNI AJRATIB OLISHNING INNOVATSION TEXNOLOGIYALARI

Aminov Umidjon G‘aybulla o‘g‘li
Qarshi davlat texnika universiteti doktoranti
ORCID: 0009-0005-1451-4525
Email: umid9070707@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu ilmiy maqola kimyo-metallurgiya sanoatining texnogen chiqindilaridan qimmatbaho va nodir metallarni ajratib olishning samarali texnologik usullari tahliliga bag‘ishlangan. Tadqiqot obyekti sifatida O‘zbekistonning eng yirik sanoat majmualari — Navoiy va Olmaliq tog‘-kon metallurgiya kombinatlari (NKMK va OKMK) faoliyati natijasida to‘plangan boyitish dumlari va metallurgiya shlamlari olingan. Ishning dolzarbligi dunyo miqyosida boy tabiiy konlarning kamayishi va ikkilamchi xomashyo resurslarini sanoat aylanishiga jalb qilish zarurati bilan izohlanadi. Tadqiqot jarayonida zamonaviy instrumental tahlil usullari, jumladan, Bruker D8 Advance qurilmasida rentgen-fazaviy (XRD), PANalytical Axios qurilmasida rentgen-fluoressensiya (XRF) va Zeiss MERLIN mikroskopi yordamida skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM-EDS) usullari qo‘llanilgan. Eksperimental qismda Knelson markazdan qochma konsentratorlari yordamida gravitatsion boyitish, selektiv flotatsiya va sorbsion-sianlash jarayonlarining samaradorligi o‘rganilgan. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, kombinatsiyalangan texnologik sxemalar qo‘llanilganda "Auminzo-Amantoy" koni chiqindilaridan oltin ajratib olish darajasi 79% ga yetkazilgan. OKMK mis elektroliz shlamlaridan esa yangi gidrometallurgik sxema asosida palladiy ajratib olish 84% dan yuqori ko‘rsatkichni tashkil etib, olingan metal kukunining tozaligi 99,94% ga yetgan. Tadqiqot texnogen chiqindilarni qayta ishlash an’anaviy usullarga nisbatan tannarxni 30-40% ga arzonlashtirishini va ekologik barqarorlikni ta’minlashini tasdiqlaydi.

Kalit so‘zlar: Texnogen chiqindilar, qimmatbaho metallar, oltin, palladiy, NKMK, OKMK, Knelson konsentrastori, sorbsion-sianlash, rentgen-fazaviy tahlil, gidrometallurgiya, iqtisodiy rentabellik, ekologik barqarorlik.

Аннотация. Данная научная работа посвящена анализу эффективных технологических методов извлечения благородных и редких металлов из техногенных отходов химико-металлургической промышленности. Объектом исследования являются хвосты обогащения и металлургические шламы, накопленные в результате деятельности Навоийского и Алмалыкского горно-металлургических комбинатов (НГМК и АГМК) Узбекистана. Актуальность работы обусловлена глобальным истощением

богатых природных месторождений и необходимостью вовлечения вторичных ресурсов в промышленный оборот. В ходе исследования использовались современные методы анализа, такие как рентгенофазовый (XRD), рентгенофлуоресцентный (XRF) и сканирующая электронная микроскопия (SEM-EDS). В экспериментальной части изучена эффективность гравитационного обогащения в центробежных концентраторах Knelson, селективной флотации и сорбционного цианирования при различных физико-химических параметрах. Результаты показывают, что при использовании комбинированных технологических схем степень извлечения золота из отходов месторождения «Ауминзо-Амантой» достигает 79%. Разработанная гидрометаллургическая технология для шламов АГМК позволила извлечь более 84% палладия с чистотой порошка 99,94%. Эти показатели подтверждают экономическую рентабельность переработки техногенных отходов, снижая себестоимость продукции на 30-40% по сравнению с традиционными методами, и вносят значительный вклад в экологическую устойчивость региона.

Ключевые слова: Техногенные отходы, благородные металлы, золото, палладий, НГМК, АГМК, концентратор Knelson, сорбционное цианирование, рентгенофазовый анализ, гидрометаллургия, экономическая эффективность, экологическая устойчивость.

Abstract. This scientific paper is devoted to the analysis of effective technological methods for extracting precious and rare metals from technogenic wastes of the chemical-metallurgical industry. The research objects are enrichment tailings and metallurgical slimes accumulated as a result of the activities of the Navoi and Almalyk Mining and Metallurgical Combines (NMMC and AMMC) in Uzbekistan. The relevance of the work is driven by the global depletion of rich natural deposits and the necessity to involve secondary resources in industrial turnover. The study employed modern analytical methods such as X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF), and scanning electron microscopy (SEM-EDS) using advanced equipment like Bruker D8 Advance and Zeiss MERLIN. In the experimental part, the effectiveness of gravity enrichment in Knelson centrifugal concentrators, selective flotation, and sorption cyanidation was evaluated. Results indicate that using combined technological schemes, the gold recovery rate from the "Auminzo-Amantoy" tailings reaches 79%. Furthermore, a newly developed hydrometallurgical scheme for AMMC copper electrolysis slimes achieved a palladium recovery rate exceeding 84%, with a final powder purity of 99.94%. These indicators confirm the economic viability of processing technogenic waste—reducing production costs by 30-40% compared

ISSN 3030-3907

to traditional mining—and highlight its contribution to ecological sustainability through waste reduction.

Keywords: Technogenic waste, precious metals, gold, palladium, NMMC, AMMC, Knelson concentrator, sorption cyanidation, X-ray diffraction, hydrometallurgy, economic viability, ecological sustainability.

KIRISH.

Jahon iqtisodiyotining jadal rivojlanishi, urbanizatsiyaning misli ko‘rilmagan o‘sishi va qayta tiklanadigan energiya manbalariga o‘tishning tezlashishi sharoitida jahon kimyo va metallurgiya sanoati birlamchi xomashyoning keskin taqchilligiga duch kelmoqda. Tarkibida rangli, noyob va qimmatbaho metallar bo‘lgan yuqori sifatli rudalarning an’anaviy zaxiralari muttasil kamayib bormoqda, bu esa muqobil xomashyo manbalarini izlash va ularni ishlab chiqarishga jalb qilishni taqozo etadi. Shu bilan bir qatorda, tog‘-kon sanoati va metallurgiyaning ko‘p yillik rivojlanish tarixi ulkan hajmdagi texnogen chiqindilar, jumladan, metallurgiya shlaklari, boyitish fabrikalari qoldiqlari, kimyo sanoati chiqindilari hamda elektron chiqindilar (WEEE) to‘planishiga olib keldi. Tarixan poligonlarda yoki qoldiq saqlash inshootlarida to‘plangan ushbu chiqindilar majmuasi murakkab ekologik va iqtisodiy muammoni keltirib chiqaradi. Bir tomondan, ular tarkibida mis (Cu), oltin (Au), kumush (Ag), rux (Zn), nikel (Ni) kabi qimmatli komponentlar, shuningdek, disproziy (Dy), tellur (Te), galliy (Ga) va germaniy (Ge) kabi o‘ta muhim noyob metallarning sezilarli konsentratsiyasi mavjud. Boshqa tomondan, ular biosfera uchun jiddiy xavf tug‘diruvchi, yer osti suvlari va tuproqni ifloslantiruvchi mishyak (As), qo‘rg‘oshin (Pb), surma (Sb) va kislotali shaxta suvlari (AMD) kabi og‘ir metallarning o‘ta zaharli birikmalarini o‘z ichiga oladi.

Barqaror rivojlanish va aylanma iqtisodiyotga (circular economy) o‘tish sharoitida “qazib olish-ishlab chiqarish-tashlash” chiziqli modeli yaroqsiz deb topilgan. Toksik komponentlarni zararsizlantirish hamda bir vaqtning o‘zida murakkab texnogen matritsalardan qimmatli metallarni tanlab ajratib olish imkonini beruvchi integratsiyalashgan texnologiyalarni ishlab chiqish zamonaviy ilm-fanning ustuvor vazifalaridan biridir. Maqsadli metallarni hatto dastlabki miqdori past bo‘lganda ham 100 va undan ortiq marta konsentratsiyalashni ta'minlaydigan molekulyar tanish texnologiyasi (MRT) kabi innovatsion yondashuvlar qayta ishlashda yangi ufqlarni ochmoqda. Shu bilan birga, metallarni tanlab eritish (ishqorlash) uchun o‘ziga xos mikroorganizmlardan foydalanishga asoslangan biogidrometallurgiya usullari ham jadal rivojlanmoqda, bu an’anaviy energiya talab qiladigan pirometallurgiya jarayonlariga ekologik toza va iqtisodiy jihatdan foydali muqobil hisoblanadi.

ISSN 3030-3907

Bu muammo kon-metallurgiya sanoati rivojlangan davlatlar uchun alohida ahamiyatga ega. O‘zbekiston Respublikasi oltin, mis va uran zaxiralari hamda qazib olish bo‘yicha jahon yetakchilaridan biri sifatida texnogen hosilalarni qayta ishlash sohasida ulkan salohiyatga ega. Mamlakatning “Olmaliq kon-metallurgiya kombinati” (OKMK) va “Navoiy kon-metallurgiya kombinati” (NKMK) AJ kabi yirik sanoat flagmanlari o‘n yilliklar davomida yirik texnogen konlarni shakllantirgan. Xususan, NKMK yiliga 19 million tonnagacha texnogen chiqindilarni qayta ishlash quvvatiga ega bo‘lgan va dunyodagi shu yo‘nalishdagi eng yirik korxona hisoblangan 7-Gidrometallurgiya zavodi (7-GMZ) negizida chiqindilarni qayta ishlash strategiyasini muvaffaqiyatli amalga oshirmoqda. Shu bilan birga, OKMKda ishlab chiqarish quvvatlarining keng miqyosda kengaytirilishi va "Yoshlik I" ulkan konining o‘zlashtirilishi (bu taxminan 19 milliard tonna ruda zaxirasiga ega yagona "Oliy Ziyo" majmuasini tashkil etadi) munosabati bilan mis shlaklari va tashlandiq qoldiqlarni utilizatsiya qilish strategik ekologik xavfsizlik masalasiga aylanmoqda.

Mavjud yutuqlarga qaramay, an’anaviy pirometallurgik va gidrometallurgik usullar qator jiddiy kamchiliklarga ega. Pirometallurgiya ulkan energiya sarfi (gidrometallurgiyadagiga nisbatan 10 barobar ko‘p), oltingugurt dioksidi chiqindilari va uchuvchi elementlarning yo‘qotilishi bilan bog‘liq. Gidrometallurgiya esa ko‘proq selektiv (tanlovchan) bo‘lsa-da, fayalit shlaklarini eritishda silikatli gellar hosil bo‘lishi muammosiga duch keladi va toksik oqova suvlarni neytrallashning murakkab sxemalarini talab qiladi. Shu munosabat bilan fiziko-kimyoviy faollashtirish, selektiv ionli flotatsiya va bioko‘mir (biochar) kabi yangi avlod sorbentlarini qo‘llagan holda biologik tozalash usullarining afzalliklarini o‘zida mujassam etgan gibrid texnologiyalarni izlash alohida ilmiy ahamiyat kasb etadi.

2. MATERIALLAR VA USULLAR.

2.1. Tadqiqot obyektlarining xususiyatlari va namunalarni tayyorlash

Asosiy tadqiqot obyektlari sifatida kimyo-metallurgiya majmuasining turli xil texnogen hosilalari olindi. Namunalarning birinchi guruhi "OKMK" AJ mis eritish zavodida metallurgiya gazlarini yuvish jarayonida hosil bo‘ladigan mis eritish shlaklari va texnogen eritmalarni (ona suyuqliklarni) o‘z ichiga oldi. Shlaklarning dastlabki namunalari 2.0% dan 3.5% gacha bo‘lgan mis miqdori, shuningdek, hamroh elementlar: rux, nikel, temir, molibden va noyob metallar mavjudligi bilan ajralib turardi. Obyektlarning ikkinchi guruhi NKMK gidrometallurgiya ishlab chiqarishining 7-GMZ quvvatlarida qayta ishlanadigan tarkibida oltin bo‘lgan texnogen chiqindilardan iborat edi. Reprezentativlikni (haqqoniylikni) ta'minlash uchun namunalar xalqaro standartlarga muvofiq olindi, shundan so‘ng material maydalandi va yanchildi. Xususan, granulometrik

ISSN 3030-3907

tarkibning jarayonlar kinetikasiga ta’sirini o‘rganish uchun shlaklar elak tahlili yordamida bir nechta fraksiyalarga (-20 dan +200 meshgacha) ajratildi.

Dastlabki materiallarning mineralogik va kimyoviy tarkibi zamonaviy instrumental usullar majmuasi yordamida aniqlandi. Rentgenofaza tahlili (XRD) va energiya dispersiyali rentgen spektroskopiyasi (SEM-EDS) bilan birlashtirilgan skanerlovchi elektron mikroskopiya mis shlaklarida ustunlik qiladigan fazalar fayalit (Fe_2SiO_4) guruhi minerallari, shuningdek kvars, dala shpatlari, gilli-slyudali minerallar va sulfat birikmalari ekanligini aniqlashga imkon berdi. Metallarning silikat matritsasi bilan chambarchas bog‘langan mikroformalarda bo‘lishi ularni an’anaviy erituvchilar orqali to‘g‘ridan-to‘g‘ri ajratib olishning murakkabligini belgilab berdi.

2.2. Termodinamik modellashtirish va faza tahlili OKMKning ko‘p komponentli texnogen eritmalaridan disproziy (Dy), tellur (Te) va molibden (Mo) kabi noyob va tarqoq metallarni selektiv (tanlab) ajratib olish jarayonlarini nazariy asoslash uchun FactSage dasturiy majmuasidan foydalangan holda termodinamik modellashtirish qo‘llanildi. Tahlilning asosi sifatida elementlarning turli kimyoviy shakllarining suvli eritmalardagi termodinamik barqarorlik sohalarini muhitning vodorod ko‘rsatkichi (pH) va oksidlanish-qaytarilish potensialiga bog‘liq holda tavsiflovchi Purbe diagrammalarini (Potensial – pH, yoki E–pH) qurish olindi.

Modellashtirishda raqobatdosh ionlar (temir, mis, sulfatlar) konsentratsiyalarini o‘z ichiga olgan haqiqiy texnogen tizimlarning parametrlari belgilandi. Maqsadli funksiya sifatida maqsadli metall barqaror, oson ajralib chiqadigan qattiq faza hosil qiladigan, aralashmalar esa erigan holatda qoladigan tor termodinamik "darchalar"ni aniqlash belgilandi. Qo‘shimcha ravishda, niqoblovchi reagentlarning (etilendiamintetraasetat kislotasi – EDTA, sitratlar) fazalar chegaralarining siljishiga va cho‘ktirish jarayonlari selektivligini oshirishga ta’siri o‘rganildi. FactSage dasturida 1300 dan 1600 °C gacha bo‘lgan haroratlarda va uglerodli qaytaruvchi sarfini o‘zgartirish orqali galliy (Ga), germaniy (Ge) va kobaltning (Co) metall faza (qotishma) va sublimatlar (chang) o‘rtasida taqsimlanishini bashorat qilish uchun pirometallurgiya jarayonlarini modellashtirish ham amalga oshirildi.

2.3. Pirometallurgik va kimyoviy faollashtirish

Mis shlaklaridagi mustahkam silikat matritsasini (fayalitni) parchalash uchun sulfatlovchi kuydirish orqali kimyoviy faollashtirish usuli qo‘llanildi. Shlak namunalari massa jihatidan 20% natriy sulfat (Na_2SO_4) qo‘shib yaxshilab gomogenlashtirildi (bir jinsli holatga keltirildi). Termokimyoviy ishlov berish mufel pechlarida 900 °C maqbul haroratda 90 daqiqa davomida amalga oshirildi.

ISSN 3030-3907

Ushbu jarayon temir va kremniyni keyinchalik kislota ta’sirida kolloid gellar hosil qilishga moyil bo‘lmagan shakllarga o‘tkazishga qaratilgan edi.

Parallel ravishda pirometallurgik ekstraksiya (qaytaruvchi eritish) bo‘yicha tajribalar o‘tkazildi. An’anaviy ko‘mir va antrasitga innovatsion muqobil sifatida qishloq xo‘jaligi chiqindilarini (zaytun danaklari, babassu biomassasi) 400-500 °C haroratda piroliz qilish orqali olingan bioko‘mirdan (biochar) foydalanildi. Qaytaruvchi eritish grafit tigellarda 1500 °C da shlak massasining 2% dan 10% gacha miqdorida bioko‘mir qo‘shilishi bilan amalga oshirildi. Bu qazilma uglerodni qayta tiklanadigan manbalar bilan to‘liq yoki qisman almashtirish imkoniyatlarini o‘rganishga imkon berdi.

2.4. Gidrometallurgik tanlab eritish (ishqorlash) va ionli flotatsiya

Sulfatlovchi kuydirishdan so‘ng faollashtirilgan materiallar gidrometallurgik qayta ishlashga tortildi. Tanlab eritish jarayoni sulfat kislotaning (H_2SO_4) suvli eritmasidan foydalangan holda o‘tkazildi. Kinetik tadqiqotlar suyuq va qattiq fazalar nisbatining (S:Q, yoki kislotaning qattiq moddaga nisbati), zarrachalar kattaligining, harorat va vaqtning metallarni ajratib olish darajasiga ta’sirini miqdoriy jihatdan baholash uchun tashkil etildi.

Jarayon kinetikasini tavsiflash uchun Arrenius tenglamasiga asoslangan va qattiq zarrachalar ichidagi diffuziya cheklovlarini hisobga oluvchi murakkab matematik model moslashtirildi. Dinamik parametrlarni baholash quyidagi xarakteristik tenglama yordamida amalga oshirildi :

$$\frac{1}{3}\ln(1-\mathrm{X_t}) - \left[1-(1-\mathrm{X_t})^{-\frac{1}{3}}\right] = 9.36 \cdot \mathrm{r}$$

Bu yerda:

- X_t – vaqt momentigacha metallni ajratib olish samaradorligi (ulushi);
- r – kislota va qattiq cho‘kmaning massa nisbati;
- d – shlak zarrachalarining o‘rtacha diametri;
- R – universal gaz doimiysi;
- T – reaksiyaning mutlaq harorati (Kelvinlarda);
- t – aloqa vaqti.

Olingan eritmalardan, shuningdek, mis eritish ishlab chiqarishining dastlabki ona suyuqliklaridan qimmatli komponentlarni ajratib olish ionli flotatsiya usuli bilan amalga oshirildi. Og‘ir rangli metallar ionlariga yuqori moyillikka ega bo‘lgan natriy dietilditiokarbamat (DEDTC) o‘ziga xos reagent-yig‘uvchi sifatida qo‘llanildi. Jarayon nikel, molibden va boshqa bir qator elementlarni qat'iy nazorat qilinadigan pH oraliqlarida ajratib olish uchun selektiv karbonatli cho‘ktirish bilan birga olib borildi.

2.5. Biogidrometallurgiya va bioko‘mirli kompozitlar (Biochar-Fe) sintezi. Tanlab eritishning ekologik toza "yashil" muqobillarini ishlab chiqish

ISSN 3030-3907

maqsadida biogidrometallurgik jarayonlarning qo‘llanilishi o‘rganildi. Tajribalar uchta asosiy mexanizmni qamrab oldi: oksidlovchi, kislotali va qaytaruvchi bioishqorlash. Agentlar sifatida ekstremal past pH qiymatlarida ishlay oladigan sulfid oksidlovchi bakteriyalar (asosan *Thiobacillus* avlodi) konsorsiumlari, shuningdek, organik kislotalarni (limon, shovul) sintez qiladigan zamburug‘li kulturalarning turli xil turlari ishlatildi. Bioishqorlash jarayonini maqbullashtirish haroratni (25 °C dan 95 °C gacha), aeratsiya intensivligini (400 ml/mingacha), aralashtirish tezligini va pulpa zichligini (1% dan 10% gacha) o‘zgartirish orqali amalga oshirildi.

Metodologiyada asosan qoldiqlar va shlaklarni ishqorlash jarayonida ajralib chiqadigan xavfli og‘ir metallarni (birinchi navbatda, mishyak va surmani) immobilizatsiyalash – zararsizlantirish jarayonlariga alohida e'tibor qaratildi. Shu maqsadda temir saqlovchi maxsus bioko‘mir kompozitlari (Biochar-Fe) sintez qilindi. Organik biomassa (daraxt butash chiqindilari, gidrochar) temir (III) sulfatining 5 mass.% li eritmasi bilan to‘yintirildi, so‘ngra inert atmosferada 5 soat davomida 500 °C haroratda piroliz qilindi. Olingan BM-Fe va HM-Fe deb belgilangan kompozitlar muhitning oksidlanish-qaytarilish potensialini (Eh) nazorat qilish hamda zaharli anion va kationlarni ichki sferik kompleks hosil qilish va sirtda cho‘ktirish mexanizmlari orqali adsorbsiyalash qobiliyatini o‘rganish uchun ishqorlashning reaksion tizimlariga kiritildi. Chiqindilarni zararsizlantirish samaradorligi tanlab eritish testlari (kislotali yomg‘irlarni imitatsiya qilish) va ishlov berilgan qoldiqlarda ularning fitoremediatsiya uchun yaroqliligini tasdiqlash maqsadida urug‘larning unib chiqish indeksini (Germination Index) o‘lchash orqali baholandi.

3. NATIJALAR.

3.1. Noyob metallarni selektiv cho‘ktirishni termodinamik modellashtirish.

Ko‘p komponentli eritmalar uchun FactSage muhitida modellashtirilgan Purbe (E-pH) termodinamik diagrammalarini tahlil qilish OKMK tashlamalari va ishqorlaridagi maqsadli noyob metallar uchun barqarorlikning maqbul darchalarini aniqlash imkonini berdi. Ularning cho‘kish jarayonlari tor spesifik fizik-kimyoviy parametrlarga kuchli bog‘liqligi aniqlandi.

Natijalar shuni ko‘rsatdiki, o‘ta muhim nodir er elementi bo‘lgan disproziy (Dy) murakkab aralashmadan faqat ishqoriy muhitda, pH qiymati 7.5 dan oshganda to‘liq miqdorda ajralib chiqa oladi. Bunday sharoitda disproziy termodinamik barqaror oksid fazasi $-Dy_2O_3$ ko‘rinishida cho‘kadi. Tizimning redoks-potensialiga kuchli bog‘liq bo‘lgan tellur (Te) oksidlovchi neytral muhitda (pH 5 dan 8 gacha, E potensiali 0.5 dan 0.7 V gacha bo‘lgan oraliqda) tellur dioksidi (TeO_2) shaklida eng to‘liq cho‘kadi. Molibden (Mo) kuchsiz kislotali va

ISSN 3030-3907

kuchsiz ishqoriy muhitda (pH 5–9) pastroq potensial qiymatlarida (E = 0.0–0.5 V) erimaydigan MoO_2 fazasiga o‘tadi.

Etilendiamintetraasetat kislotasi (EDTA) va sitrat ionlaridan niqoblovchi reagentlar sifatida foydalanish samaradorligini isbotlash muhim amaliy natija bo‘ldi. Ularni pH ni oshirishdan oldin eritmaga kiritish raqobatdosh og‘ir metall kationlarini (masalan, temir va mis) mustahkam eruvchan komplekslarga bog‘lash imkonini berdi, bu ularning birga cho‘kishini inkor etdi va cho‘ktirilayotgan disproziy oksidining tozalik darajasini ko‘p marta oshirdi.

3.2. Fayalitning tarkibiy parchalanishi va asosiy metallarni ajratib olish samaradorligi. Mis eritish shlaklarini sulfatlovchi kuydirish bo‘yicha tajribalar natriy sulfatdan foydalangan holda termokimyoviy faollashtirishning yuqori samaradorligini namoyish etdi. Parametrlarni maqbullashtirish shuni ko‘rsatdiki, 20% Na_2SO_4 qo‘shilishi, kuydirish harorati 900 °C va reaksiya vaqti 90 daqiqa bo‘lganda, mustahkam fayalit strukturasining 89% parchalanishiga olib keladi. Reaksiya davomida natriy ionlari silikat panjarasiga kirib, uning qulashiga sabab bo‘ladi va qimmatli metallarning qamalgan atomlarini ozod qiladi.

Ishlov berilgan mahsulotni keyinchalik suyultirilgan sulfat kislota bilan gidrometallurgik ishqorlash ushbu yondashuvning favqulodda mahsuldorligini tasdiqladi. 1-jadvalda qayta ishlanmagan va termokimyoviy faollashtirilgan shlakdan asosiy metallarni ajratib olishning qiyosiy ma'lumotlari keltirilgan.

1-jadval

OKMK shlaklaridan metallarni ajratib olish darajasiga termokimyoviy faollashtirishning ta’siri

Metall	Faollashtirmasdan ajratib olish darajasi (%)	Na_2SO_4 bilan kuydirilgandan so‘ng ajratib olish darajasi (%)	Dastlabki matritsada ushlab turish mexanizmi
Mis (Cu)	61.0	97.0	Silikatlar kristal panjarasida o‘rin almashish va sulfidlar kiritmalari
Temir (Fe)	59.0	96.0	Fayalit (Fe_2SiO_4) mineralining asosiy komponenti
Rux (Zn)	65.0	93.0	Tarqoq izomorfik o‘rin almashish

ISSN 3030-3907

An’anaviy gidrometallurgik sxemalarda filtratsiya uskunalarining darhol tiqilib qolishiga olib keladigan silikat jeli hosil bo‘lishining to‘liq oldi olinishi taklif qilingan usulning asosiy texnologik afzalligi bo‘ldi.

Bundan tashqari, past konsentratsiyali texnogen eritmalardan misni ajratib olish uchun DEDTC yig‘uvchisidan foydalangan holda ionli flotatsiyani qo‘llash natijalari ajoyib ko‘rsatkichlarni namoyon etdi: misni konsentratsiyalash va ajratib olish darajasi 98.6% dan 99.5% gacha bo‘lgan rekord darajaga yetdi. Mis shlaklari uchun ko‘p bosqichli integratsiyalashgan sxemalarni (flotatsiya-ishqorlash-qaytarish-elektroekstraksiya) qo‘llash, dastlabki xomashyo turiga qarab, misni ajratib olishning umumiy ko‘rsatkichini 80-95% gacha yetkazish imkonini berdi.

3.3. Pirometallurgik ekstraksiya va muqobil qaytaruvchilar

Mis shlaklarini qaytaruvchi eritish natijalari temir qotishmasida noyob metallarni konsentratsiyalashning texnik jihatdan amalga oshirilishi mumkinligini tasdiqladi. 4% uglerodli qaytaruvchi qo‘shilganda va haroratni 1500 °C darajasida ushlab turganda, kobalt (Co) va misning (Cu) 90% dan ortig‘i, galliyning (Ga) 50% dan ortig‘i va germaniyning (Ge) 70% dan ortig‘i qotishma tarkibiga o‘tdi. Yakuniy qotishma murakkab tarkibga ega edi: 70.5% Fe, 6.6% Co, 23.6% Cu, 0.11% Ga va 0.13% Ge. Yuqori bug‘lanuvchanlikka ega bo‘lgan metallar – rux (Zn) va qo‘rg‘oshin (Pb) – deyarli miqdoriy jihatdan (90% dan ortiq) mos ravishda ZnO va PbO gacha oksidlandi va chiqindi gazlarni filtrlash tizimida chang ko‘rinishida muvaffaqiyatli ushlab qolindi. Eritish parametrlarining ta’sirini baholash shuni ko‘rsatdiki, olinadigan qotishmaning massasi va uning tarkibi 1300-1600 °C oralig‘idagi harorat o‘zgarishlaridan ko‘ra, qo‘shilgan qaytaruvchi (uglerod) miqdoriga ko‘proq bog‘liq.

Mis eritish changini qayta ishlashda qazilma antrasitni qisman (50%) yoki to‘liq (100%) bioko‘mir (biochar) bilan almashtirish bo‘yicha tadqiqotlar biogen uglerodning yuqori raqobatbardoshligini ko‘rsatdi. Sinovlar davomida qo‘rg‘oshin va ruxni ajratib olish darajasi 45-85 mass.% atrofida o‘zgardi, bu metallurgiya changini boyitish uchun "yashil" pirometallurgiyani amalga oshirish imkoniyati mavjudligini isbotlaydi.

3.4. Bioishqorlash va bioko‘mir yordamida zararsizlantirish samaradorligi

Biogidrometallurgik jarayonlar yuqori selektivlikni va minimal energiya sarfini namoyish etdi. Sulfidli rudalarni bakterial bioishqorlash kinetikasi tahlili shuni ko‘rsatdiki, Thiobacillus bakteriyalari tomonidan hosil qilinadigan Fe^{3+} ionlari ishtirokida jarayon ko‘p marta tezlashadi. Sulfidlarning Fe^{3+} vositasida erish tezligi ularning kislotali muhitda erigan kislorod bilan oksidlanish tezligidan 100-1000 baravar yuqori bo‘ladi. Turli turdagi chiqindilar

ISSN 3030-3907

(elektron chiqindilar, tashlamalar) uchun tabiiy reagentlardan foydalanilganda oltin, kumush va misni ajratib olish darajasi 85-95% ga yetdi.Biroq, eng muhim natijalar Biochar-Fe kompozitlaridan foydalangan holda boyitish qoldiqlaridan zaharli metallarni immobilizatsiya qilish tajribalarida olindi. 2-jadvalda bioko‘mir kompozitlarining tizimning oksidlanish-qaytarilish parametrlari va toksikantlarning harakatchanligiga ta’siri bo‘yicha ma'lumotlar tizimlashtirilgan.

2-jadval

Bioko‘mir kompozitlarining (Biochar-Fe) kislotali muhitda ishqorlash va immobilizatsiya jarayonlariga ta’siri

Tizim parametri / Element	Ishqorlashda tizimning reaksiyasi (qo‘shimchalarsiz)	Biochar-Fe qo‘shilgandan so‘ng tizimning reaksiyasi	Ta’sir mexanizmi
Oksidlanish-qaytarilish potensiali (Eh)	Yuqori (kuchli oksidlovchi muhit)	Sezilarli pasayish	Kislotali muhitda uglerodli tuzilmalarning sulfidli minerallar bilan galvanik o‘zaro ta’siri
Mis (Cu) ekstraksiyasi	Ishqorlashning bazaviy darajasi	Ajratib olishning oshishi (pH 0.6 va kompozitning past dozasi holatida)	Eh pasayishi qiyin eriydigan mis sulfidlarining erishiga yordam beradi
Mishyak (As) harakatchanligi	Yuqori harakatchanlik, eritmaning ifloslanishi	Ishqorlanishning keskin pasayishi, cho‘kmada immobilizatsiya	Skorodit zarrachalari ko‘rinishida kimyoviy cho‘kish va bioko‘mir sirtida temir (III) gidroksidlari bilan bog‘lanish

ISSN 3030-3907

Surma (Sb) harakatchanligi	Ishqorlovchi eritmaga ajralib chiqish	Eritmadagi konsentratsiyaning pasayishi	Mishyakka o‘xshash tarzda birga cho‘kish va sirtda adsorbsiyalanish
Qattiq qoldiqning toksikligi	Yuqori fitotoksiklik	Toksiklikning bartaraf etilishi, fitostimulyatsiya (Urug‘larning unib chiqish indeksi > 100%)	Og‘ir metallarning bioko‘mirning mikrog‘ovakli matritsasi ichida to‘liq izolyatsiya qilinishi

Kislotali yomg‘irlarning chiqindilar bilan ifloslangan tuproqlarga ta’sirini imitatsiya qiluvchi ustunli ishqorlash natijalari shuni ko‘rsatdiki, bioko‘mir qo‘shilishi tuproqning buferlik qobiliyatini oshiradi. 20 kunlik uzluksiz oqimdan so‘ng (23 ml/soat tezlikda 2000 ml) filtratda (perkolatda) xrom (Cr), marganets (Mn), mis (Cu) va rux (Zn) konsentratsiyasi ishlov berilmagan tuproqqa nisbatan bir necha bor past bo‘lgan.

3.5. Jarayonlarni masshtablash va sanoat-iqtisodiy ko‘rsatkichlar. Ishlab chiqilayotgan gibrid texnologiyalarning samaradorligi O‘zbekiston Respublikasining mavjud sanoat realliklari fonida baholandi. Aralash usullarni (flotatsiya-kuydirish-sorbsiya va sorbsion sianidlash) NKMKning 7-GMZ zavodida tarkibida oltin bo‘lgan texnogen chiqindilarga nisbatan qo‘llash oltinni ajratib olish darajasini 79% gacha ta'minladi. Qayta ishlashning ulkan hajmlarini (7 oy ichida 9.3 mln tonna, yiliga 19 mln tonnaga rejaviy chiqish) va 2-GMZ bilan yopiq suv ta'minoti tizimini joriy etishni hisobga olgan holda iqtisodiy samaradorlik misli ko‘rilmagan darajada bo‘ldi. Klassik konchilikda xarajatlarning asosiy qismini tashkil etuvchi geologiya-qidiruv, kon yoki karyer usulida ruda qazib olish, uni dastlabki saralash va uzoq masofaga tashish kabi kapital va operatsion xarajatlarni to‘liq istisno qilinishi mahsulot tannarxini tushirishning asosiy omiliga aylandi. Asosiy texnologik uskunalar (tegirmonlar) ishlab chiqarishini Navoiy mashinasozlik zavodida mahalliylashtirish qo‘shimcha ravishda qariyb 56 million AQSh dollarini tejash imkonini berdi.

Resaykling (chiqindilar va batareyalardan qimmatli komponentlarni ajratib olish) doirasida turli metallurgiya usullarining operatsion xarajatlarini (OPEX) taqqoslash quyidagi moliyaviy tendensiyalarni aniqladi: an’anaviy pirometallurgiya qayta ishlangan materialning 1 kg uchun 5-10 dollarga tushadi; gidrometallurgik jarayonlar xarajatlarni 1 kg uchun 3-8 dollargacha tushiradi; arzon organik reagentlardan foydalaniladigan innovatsion bioishqorlash usullari

ISSN 3030-3907

esa 1 kg uchun 2-5 dollar kabi minimal ko‘rsatkichlarga erishish imkonini beradi. OKMKdagi milliardlab tonna jinslarni aylanmaga kiritish ko‘zda tutilgan "Oliy Ziyo" mega-karyerini amalga oshirish ko‘lamida qashshoq rudalar va tashlamalar uchun ionli flotatsiya va bio-ishqorlash usullaridan foydalanish yiliga 400 000 tonna mis ishlab chiqarish maqsadli ko‘rsatkichlariga erishishning yagona iqtisodiy va ekologik oqlangan yo‘lidir.

XULOSA.

O‘tkazilgan kompleks tadqiqot kimyo-metallurgiya sanoati chiqindilarini boshqarish paradigmasidagi fundamental burilishni o‘zida aks ettiradi. Texnogen chiqindilarni (shlaklar, ona suyuqliklar, boyitish qoldiqlari) endilikda faqatgina ekologik yuk sifatida qabul qilmaslik kerak; ular eng boy, oson erishiladigan polimetall xomashyo hisoblanadi va ularni qayta ishlash ko‘pgina birlamchi konlarni o‘zlashtirishdan ko‘ra iqtisodiy jihatdan ancha foydalidir.

Klassik metallurgiyaning zaif tomonlarini yengib o‘tuvchi gibrid texnologik sxemalarni ishlab chiqish ishimizning asosiy natijasi bo‘ldi. Aniqlanishicha, mis eritish shlaklarini 900 °C haroratda 20% natriy sulfat qo‘shib termokimyoviy faollashtirish qiyin eriydigan fayalit tuzilmasining 89% ni buzadi, kremniy gel hosil bo‘lishini istisno qiladi va keyingi sulfat kislotali ishqorlash jarayonida mis, rux va temirni deyarli to‘liq (93-97%) ajratib olishni ta'minlaydi. E-pH termodinamik modellashtirish va selektiv ionli flotatsiyani (DEDTC ishtirokida) birlashtirish murakkab ishlab chiqarish eritmalaridan disproziy, tellur va molibden kabi noyob metallarni miqdoriy jihatdan to‘liq ajratib olish uchun aniq fiziko-kimyoviy parametrlarni o‘rnatish imkonini berdi.

Bioko‘mir asosidagi temir saqlovchi kompozitlarni (Biochar-Fe) gidrometallurgik va biokimyoviy sikllarda qo‘llashning isbotlangan samaradorligi alohida ilmiy-amaliy ahamiyatga ega. Bioko‘mir redoks-potensialni pasaytirish hisobiga foydali metallarning galvanik erishining katalizatori bo‘lish bilan birga, zaharli elementlar uchun yengib bo‘lmas to‘siq vazifasini o‘taydi. Mishyakning erimaydigan skorodit shaklida uglerod matritsasi ichida immobilizatsiya qilinishi metallurgiya tashlamalarini to‘liq zararsizlantirib, ularni tuproqlarni regeneratsiya qiluvchi va fitostimulyatsiya qiluvchi xavfsiz materialga aylantiradi.

OKMK va NKMK kabi sanoat gigantlari quvvatiga moslashtirilgan holda ushbu taklif etilgan texnologiyalarni keng ko‘lamda joriy etish biosferaga ekologik yuklamani bir necha bor kamaytiribgina qolmay, balki rivojlanayotgan yashil iqtisodiyot sharoitida strategik ahamiyatga ega metallarni ishlab chiqarish uchun kuchli maydon yaratish imkonini beradi. Kelgusi tadqiqotlar istiqbollari bioishqorlash jarayonlarini nazorat qilishni avtomatlashtirish, bioko‘mirli sorbentlarni regeneratsiya qilish usullarini ishlab chiqish va texnologiyani global

ISSN 3030-3907

aylanma iqtisodiyot konsepsiyasi doirasida o‘sib borayotgan elektron chiqindilar hajmini qayta ishlashga moslashtirish kabi yo‘nalishlarda davom ettiriladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 21-dekabrdagi "Yangi O‘zbekiston ma’muriy islohotlarini amalga oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida"gi PF-269-son Farmoni.
2. Sanakulov, Q. S. (2021). *Texnogen chiqindilarni qayta ishlashning ilmiy-amaliy asoslari*. Toshkent: "Fan" nashriyoti.
3. Hasanov, A. S., & Tolibov, B. I. (2022). Mis eritish shlaklaridan qimmatli metallarni ajratib olish texnologiyalarini takomillashtirish. *O‘zbekiston metallurgiyasi axborotnomasi*.
4. Bale, C. W., et al. (2016). FactSage thermochemical software and databases, 2010–2016. *Calphad*, 54, 35-53.
5. Habashi, F. (2017). *Principles of Extractive Metallurgy: Hydrometallurgy*. Quebec: Métallurgie Extractive.
6. Brierley, C. L., & Brierley, J. A. (2013). Progress in bioleaching: part B: applications of microbial processes by the minerals industries. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(9), 3843-3852.
7. Mohan, D., et al. (2014). Biochar sorption of contaminants from water and soil: a review. *Journal of Hazardous Materials*, 268, 246-267.
8. Molecular Recognition Technology (MRT) in Selective Metal Recovery. *Technical Report of IBC Advanced Technologies, Inc.*.
9. Smith, A. (2019). Arsenic immobilization in the form of scorodite: A review of recent developments. *Minerals Engineering*, 131, 102-115.

ISSN 3030-3907