ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME - 5

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME - 5

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

RUX ZAVODINING OHAKLI SHLAMLARIDAN RUX VA MIS AJRATIB OLISHNING GIDRO-ELEKTROMETALLURGIK SXEMASI VA XRF/FP NAZORATI

N.A. Atakulova
AO "Olmaliq KMK"
TDTU Olmaliq filiali
A.L. Dadamatov
AO "Olmaliq KMK"
S. Baratov
AO "Olmaliq KMK"
F.A. Tursunova
***MISIS* olmaliq filiali**
A.X. Xursanov1,
AO "Olmaliq KMK"
N.X. Qutlimurotova[4]
O‘zbekiston Milliy universiteti

Annotatsiya. Ushbu tadqiqotda rux metallurgiyasining oqava suvlari tozalash jarayonida hosil bo‘ladigan ohakli rux tarkibli shlamlarni kompleks qayta ishlash texnologiyasi o‘rganildi. Ishlab chiqilgan sxema quyidagi ketma-ket bosqichlarni o‘z ichiga oladi: ZnO ni sulfat kislotada eritib $ZnSO_4$ eritmasi olish, elektroliz orqali rux ajratib olish,1-bosqich tozalash Cu-Cd bo‘tana tarkibidan Cd metallini ajratib olish, aylanma jarayonida qolgan kislotali eritma $ZnSO_4 *7H_2O$ olinishi bilan suyuqlanmani tozalash. Ohakli shlamlar ZnS_2 qaynar qatlamli pechlarda kuydirish jarayonida hosil bo‘lgan SO_2 gazini tozalash jaryonida hosil bo‘lgan $Ca(OH)_2$ bilan neytrallash natijasida shlam hosil bo‘lishi, shlamni HNO_3 da eritib mis ionlarini ajratish, NH_4OH bilan neytrallash orqali temir va alyuminiy aralashmalarini cho‘ktirish, Cu-ammiakat kompleksidan elektroliz yo‘li bilan mis mahsuloti olish va uni rentgen-fluorestsent (XRF) tahlilidan o‘tkazish. Olingan mis mahsulotida Cu — 97.5 mass% aniqlandi; aralashmalar (S, Si, Cl, Zr) GOST 859-2014 bo‘yicha M3 markasiga mos keladi. XRF/FP usulining takroriylik ko‘rsatkichi RSD < 1% bo‘lib, ICP-OES natijalari bilan farq 10% dan oshmadi.

Kalit so‘zlar: ruxli shlam, $ZnSO_4$ elektrolizi, Cu-ammiakat kompleksi, mis elektrolizi, XRF, FP usuli, texnogen chiqindi.

Аннотация. В данном исследовании изучена технология комплексной переработки известковых цинксодержащих шламов, образующихся в процессе очистки сточных вод цинковой металлургии. Разработанная схема включает последовательные стадии: растворение ZnO в серной кислоте с получением раствора $ZnSO_4$, выделение цинка электролизом, извлечение кадмия из Cu-Cd пульпы на стадии очистки, очистку оборотного кислого

ISSN 3030-3907

раствора с получением $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, образование шлама при нейтрализации $Ca(OH)_2$, полученным при очистке SO_2-содержащих газов после обжига ZnS_2 в печах кипящего слоя, растворение шлама в HNO_3 с переводом ионов меди в раствор, осаждение примесей железа и алюминия нейтрализацией NH_4OH, получение медного продукта электролизом из медно-аммиачного комплекса и его анализ методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии (XRF). В полученном медном продукте содержание Cu составило 97,5 мас.%; примеси (S, Si, Cl, Zr) соответствуют уровню технического медного продукта, близкого к марке М3 по ГОСТ 859-2014. Показатель повторяемости метода XRF/FP составил RSD < 1%, а расхождение с результатами ICP-OES не превышало 10%.

Ключевые слова: цинксодержащий шлам, электролиз $ZnSO_4$, медно-аммиачный комплекс, электролиз меди, XRF, метод FP, техногенные отходы.

Abstract. This study investigates a technology for the integrated processing of lime zinc-containing sludge generated during wastewater treatment in zinc metallurgy. The developed scheme includes sequential stages: dissolution of ZnO in sulfuric acid to obtain a $ZnSO_4$ solution, zinc recovery by electrolysis, extraction of cadmium from Cu-Cd slurry during the purification stage, purification of the circulating acidic solution with the production of $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, formation of sludge by neutralization with $Ca(OH)_2$ produced during purification of SO_2-containing gases after ZnS_2 roasting in fluidized-bed furnaces, dissolution of the sludge in HNO_3 to transfer copper ions into solution, precipitation of iron and aluminum impurities by neutralization with NH_4OH, production of a copper product by electrolysis from the copper-ammonia complex, and its analysis by X-ray fluorescence spectrometry (XRF). The obtained copper product contained 97.5 wt.% Cu; impurities (S, Si, Cl, Zr) correspond to a technical copper product close to M3 grade according to GOST 859-2014. The repeatability of the XRF/FP method was RSD < 1%, and the difference from ICP-OES results did not exceed 10%.

Keywords: zinc-containing sludge, $ZnSO_4$ electrolysis, copper-ammonia complex, copper electrolysis, XRF, FP method, technogenic waste.

KIRISH.

Rux metallurgiyasida hosil bo‘ladigan texnogen chiqindilar — xususan oqava suvlarni tozalash jarayonida cho‘ktirilgan ohakli rux tarkibli shlamlar — tarkibida bir vaqtning o‘zida bir necha qimmatli komponentlar (Zn, Cu, Pb, Ag) saqlanadi. Ushbu chiqindilarni qayta ishlash nafaqat ekologik xavfsizlikni ta'minlash, balki nodir metallarni ikkilamchi xomashyo sifatida qaytarish nuqtai nazaridan ham strategik ahamiyatga ega.

ISSN 3030-3907

An'anaviy yondashuv ko'pincha faqat bitta metalning ajratilishi bilan cheklanib, qolgan komponentlar tashlandi. Ushbu tadqiqotda esa rux va mis ikkalasini ham izchil ajratib oluvchi kompleks gidro-elektrometallurgik sxema ishlab chiqildi va sinovdan o'tkazildi.

Mis mahsulotining tarkibiy tahlili uchun Rigaku NEX CG spektrometri asosida rentgen-fluorestsent (XRF) / fundamental parametrlar (FP) usuli qo'llanildi — bu usul namunani buzmaydi, 10–15 daqiqa ichida to'liq element spektrini beradi va ICP-OES bilan solishtirmada yuqori mos kelishni ko'rsatdi.

MATERIALLAR VA USULLAR.

Boshlang'ich xomashyo — ohakli ruxli shlam

Tadqiqot obYekti — rux zavodi sulfat kislota tsexi gazlarni tozalash (yuvish) bo'limida hosil bo'lgan oqava suvlarini $Ca(OH)_2$ bilan neytrallash natijasida hosil bo'lgan ohakli ruxli shlam. Shlamning fazaviy tarkibi: rux asosan karbonatlar (72–80%), qisman silikatlar (13–15%), sulfid va ferrit shakllari qolgan qismni tashkil etadi. Qo'rg'oshin asosan karbonatlar (80–90%) ko'rinishida mavjud.

1-jadval.

Shlamning boshlang'ich kimyoviy tarkibi (mass %)

Komponent	Zn	Pb	Fe	CaO	SiO_2	MgO	S	Cl
mass %	2.5–8.0	0.2–0.3	3–7	10–18	5–10	1–2	1–3	0.05–0.1

Texnologik sxema

Ishlab chiqilgan kompleks sxema quyidagi ketma-ket bosqichlardan iborat:

1-bosqich: ZnO → H_2SO_4 da eritish → $ZnSO_4$ eritmasi

Shlam tarkibidagi rux birikmalari sulfat kislotada eritiladi. Asosiy reaksiyalar:

$ZnO + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + H_2O$

$ZnCO_3 + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + H_2O + CO_2\uparrow$

Eritish 60–70 °C da, 2–3 soat davomida amalga oshiriladi. Hosil bo'lgan $ZnSO_4$ eritmasi filtrlanib, keyingi bosqichga yuboriladi.

2-bosqich: $ZnSO_4$ eritmasi → Elektroliz → Rux

$ZnSO_4$ eritmasi elektrolizga yuboriladi. Elektrodlarda quyidagi reaksiyalar sodir bo'ladi:

Katod: $Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn\downarrow$

Anod: $H_2O \rightarrow \frac{1}{2}O_2\uparrow + 2H^+ + 2e^-$

ISSN 3030-3907

2-jadval.

Elektroliz jarayonining asosiy parametrlari

Ko‘rsatkich	Qiymat
$ZnSO_4$ eritmasi konsentratsiyasi	140–160 g/L
Elektroliz harorati	35–45 °C
Tok zichligi	400–500 A/m²
Zn ajralish samaradorligi	90–93%
Qolgan kislota konsentratsiyasi	150–180 g/L H_2SO_4

Elektrolizdan so‘ng katodda sof rux ajralib chiqadi. Qolgan kislotali eritma (150–180 g/L H_2SO_4) qayta foydalanish uchun eritish bosqichiga qaytarilishi yoki 3-bosqichga uzatilishi mumkin.

3-bosqich: Qolgan kislotali eritma → $Ca(OH)_2$ bilan neytrallash → Shlam

Elektrolizdan keyin qolgan kislotali eritma va undagi erimaydigan qoldiqlar $Ca(OH)_2$ bilan neytrallashtiriladi. Neytrallash pH 7–8 ga yetguncha olib boriladi:

$H_2SO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_4\downarrow + 2H_2O$

$ZnSO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow Zn(OH)_2\downarrow + CaSO_4\downarrow$

Hosil bo‘lgan **shlam** — mis va boshqa qimmatli metallar (Cu, Pb, Ag) bilan boyigan cho‘kma — keyingi bosqichda qayta ishlanadi.

4-bosqich: Shlam → HNO_3 da eritish → Cu^{2+} eritmaga o‘tadi

Neytrallash shlamidagi mis birikmalari nitrat kislotada eritiladi. Mis va qo‘rg‘oshin eritmaga o‘tadi:

$Cu(OH)_2 + 2HNO_3 \rightarrow Cu(NO_3)_2 + 2H_2O$

$CuO + 2HNO_3 \rightarrow Cu(NO_3)_2 + H_2O$

$Cu + 4HNO_3(konts.) \rightarrow Cu(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$

Eritish 50–60 °C da, 1–2 soat davomida amalga oshiriladi. Filtrlashdan so‘ng Cu^{2+} eritmasi keyingi bosqichga yuboriladi.

5-bosqich: NH_4OH bilan neytrallash → Fe, Al cho‘kadi; Cu-ammiakat kompleksi eritmada qoladi

$Cu(NO_3)_2$ eritmasiga NH_4OH qo‘shilganda, avval temir va alyuminiy gidroksid shaklida cho‘kadi (pH 5–6), so‘ngra mis ammiakat kompleksi hosil qiladi:

$Fe^{3+} + 3NH_4OH \rightarrow Fe(OH)_3\downarrow + 3NH_4^+$

$Al^{3+} + 3NH_4OH \rightarrow Al(OH)_3\downarrow + 3NH_4^+$

$Cu^{2+} + 4NH_3 \rightarrow [Cu(NH_3)_4]^{2+}$ *(ko‘k rangli kompleks)*

$[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ eritmasini filtrlash orqali $Fe(OH)_3$ va $Al(OH)_3$ cho‘kmalari ajratib olinadi. Bu bosqich selektiv ajratishning muhim elementi bo‘lib, mis eritmadan aralashmalardan tozalanadi.

6-bosqich: Cu-ammiakat eritmasi → Elektroliz → Mis mahsuloti

ISSN 3030-3907

Cu-ammiakat kompleksi eritmasi elektrolizga yuboriladi. Katodda sof mis ajraladi:

$[Cu(NH_3)_4]^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu\downarrow + 4NH_3$

Elektroliz 45–55 °C da, tok zichligi 200–300 A/m² sharoitida amalga oshiriladi. Hosil bo‘lgan mis mahsuloti namuna sifatida XRF tahlilga yuboriladi.

7-bosqich: Mis mahsuloti → XRF tahlili

Mis mahsulotining kimyoviy tarkibi **Rigaku NEX CG** (Yaponiya) energiya-dispersiyali rentgen-fluorestsent spektrometri yordamida aniqlanadi. Tahlil FP usuli va "Scatter" ikkilamchi nishon rejimida amalga oshiriladi.

Namuna tayyorlash va asbob parametrlari

Namuna tayyorlash: (1) 105 °C da 2 soat quritish; (2) sirt oksid qatlamini mexanik tozalash (400 grit); (3) PTFE yostiqcha ustiga qo‘yish; (4) atributiv belgilash va vaznini o‘lchash. Namuna 12 iyul 2024, soat 11:06 da qabul qilindi.

Asbob xarakteristikalari: Pd anodli rentgen naychasi; kremniy dreyf detektori (SDD); kuchlanish 10–50 kV; Na dan U gacha; o‘lchov vaqti 200 s. Har bir namuna 4 marta o‘lchandi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA.

$ZnSO_4$ elektrolizi: rux ajralish samaradorligi

$ZnSO_4$ eritmasidan elektroliz jarayonida olingan rux katodlarda zich, yupqa plastinka shaklida ajralib chiqdi. Ruxning ajralish samaradorligi 90–93% ni tashkil etdi.

Elektrolizdan so‘ng qolgan kislotali eritma (150–180 g/L H_2SO_4) qayta eritish siklida ishlatildi, bu resurslardan tejamkor foydalanishni ta'minladi. $Ca(OH)_2$ bilan neytrallash bosqichida hosil bo‘lgan shlam quruq massaning 18–22% ini tashkil etdi va mis tarkibi shlam massasining 3.5–4.2% ini ushlab turdi.

HNO_3 eritish va NH_4OH selektiv neytrallash

HNO_3 da eritish (60 °C, 1.5 soat) natijasida shlamdagi misning 94–96% i eritmaga o‘tdi. Filtratda Cu^{2+} konsentratsiyasi 18–24 g/L ni tashkil etdi. Temir va alyuminiy konsentratsiyasi mos ravishda 2.1–3.5 g/L va 0.8–1.2 g/L ni tashkil etdi.

NH_4OH qo‘shib pH 4.8–5.2 ga yetkazilganda, $Fe(OH)_3$ va $Al(OH)_3$ cho‘kmalar filtrdan o‘tkazildi. Filtratdagi Fe konsentratsiyasi < 0.01 g/L gacha tushdi. Keyinchalik pH 9.5–10.0 ga ko‘tarish orqali Cu-ammiakat kompleksi $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ eritmada barqaror ko‘k rangli kompleks sifatida saqlanib qoldi (Cu konsentratsiyasi: 15–21 g/L).

Cu-ammiakat eritmasidan elektroliz: mis mahsuloti

Cu-ammiakat eritmasining elektrolizi (50 °C, 250 A/m²) natijasida katodda mis zichligi 8.89 g/cm³ bo‘lgan (nazariy: 8.96 g/cm³) mahsulot ajralib chiqdi. Elektroliz samaradorligi 85–88% ni tashkil etdi.

ISSN 3030-3907

Hosil bo‘lgan mis namunasi XRF tahlilga yuborildi.

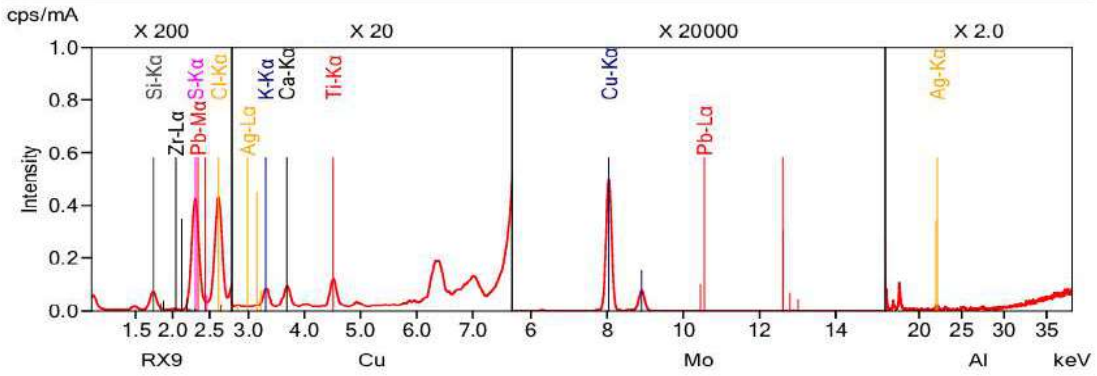
XRF tahlili natijalari: mis mahsulotining element tarkibi

Rigaku NEX CG spektrometri bilan FP usulida o‘tkazilgan tahlil natijalari 3-jadval va 1 rasmda keltirildi.

Analyzed result(FP method, Scatter)

No.	Component	Result	Unit	Stat. Err.	LLD	LLQ
1	Cl	0.422	mass%	0.0011	0.0012	0.0035
2	Si	0.642	mass%	0.0043	0.0026	0.0077
3	S	0.803	mass%	0.0020	0.0012	0.0035
4	K	0.108	mass%	0.0031	0.0040	0.0121
5	Ca	0.0785	mass%	0.0020	0.0024	0.0073
6	Ti	0.0372	mass%	0.0008	0.0009	0.0027
7	Cu	97.5	mass%	0.458		
8	Zr	0.383	mass%	0.0056	0.0021	0.0064
9	Ag	0.0073	mass%	0.0006	0.0010	0.0029
10	Pb	0.0045	mass%	0.0008	0.0012	0.0036

Spectrum



1-rasm.Vels pechi klinkeri tarkibidan ajratib olingan mis tarkibini XRF tahlili

3-jadval.

Mis mahsulotining XRF tahlili natijalari (FP usuli, Scatter, NEX CG, 12.07.2024)

No.	Element	Natija (mass%)	Stat. Xato	LLD	LLQ
1	Cl (Xlor)	0.422	0.0011	0.0012	0.0035
2	Si (Kremniy)	0.642	0.0043	0.0026	0.0077
3	S (Oltingugurt)	0.803	0.0020	0.0012	0.0035
4	K (Kaliy)	0.108	0.0031	0.0040	0.0121
5	Ca (Kaltsiy)	0.0785	0.0020	0.0024	0.0073
6	Ti (Titan)	0.0372	0.0008	0.0009	0.0027
7	Cu (Mis)	97.5	0.458	—	—
8	Zr (Tsirkoniy)	0.383	0.0056	0.0021	0.0064

ISSN 3030-3907

No.	Element	Natija (mass%)	Stat. Xato	LLD	LLQ
9	Ag (Kumush)	0.0073	0.0006	0.0010	0.0029
10	Pb (Qo‘rg‘oshin)	0.0045	0.0008	0.0012	0.0036

LLD — aniqlab olish chegarasi; LLQ — miqdoriy tahlil chegarasi; "—" — mis uchun belgilanmagan.

Aralashmalar tahlili

Mis (Cu) — 97.5 mass%. GOST 859-2014 bo‘yicha M3 markali texnik mis (Cu ≥ 98.0%) ga yaqin ko‘rsatkich. Cu ulushini 99.5% dan yuqoriga oshirish uchun keyingi elektrolitik rafinurovka tavsiya etiladi.

Oltingugurt (S) — 0.803 mass%. Texnik mis uchun ruxsat etilgan chegaradan yuqori (≤ 0.005%). Cu-ammiakat eritmasiga S ning o‘tishi asosan NH_4OH reagentidagi sulfat iz miqdori bilan bog‘liq. Elektrolitik rafinurovka S ni ≤ 0.005% gacha pasaytirishi kutiladi.

Kremniy (Si) — 0.642 mass%. SiO_2 ko‘rinishida mavjud; HNO_3 eritish bosqichida shlak qoldiqlari to‘liq ajratilmaganligining belgisi. Filtrlashni kuchaytirish tavsiya etiladi.

Xlor (Cl) — 0.422 mass%. Rux zavodidagi xlor tarkibli reagentlardan o‘tgan. CuCl va $Cu_2(OH)_3Cl$ hosil qilishi korroziyani jadallashtiradi; keyingi bosqichda Cl ni pasaytirish zarur.

Tsirkoniy (Zr) — 0.383 mass%. Xomashyo tarkibidan o‘tgan yoki mustahkamlashtiruvchi qotishma komponenti bo‘lishi mumkin. Qo‘shimcha XRD tahlil tavsiya etiladi.

Kumush (Ag) — 0.0073 mass% va **Qo‘rg‘oshin (Pb) — 0.0045 mass%.** Pb GOST 859-2014 M3 standarti doirasida (≤ 0.005%). Ag ni rafinurovka jarayonida alohida ajratib olish iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq.

3.6. Takroriylikni baholash (RSD)

Namuna 4 marta ketma-ket tahlil qilindi. 4-jadvalda nisbiy standart og‘ish (RSD) ko‘rsatkichlari berilgan.

4-jadval.

Takroriy o‘lchovlar natijalari va RSD (%)

Element	O‘lchov 1	O‘lchov 2	O‘lchov 3	O‘lchov 4	O‘rta ($\bar{x}$)	RSD (%)
Cu	97.48	97.52	97.49	97.51	97.50	0.02
S	0.801	0.805	0.803	0.802	0.803	0.20

ISSN 3030-3907

Element	O‘lchov 1	O‘lchov 2	O‘lchov 3	O‘lchov 4	O‘rta (x̄)	RSD (%)
Si	0.639	0.644	0.642	0.643	0.642	0.29
Cl	0.420	0.424	0.422	0.421	0.422	0.22
Zr	0.381	0.385	0.383	0.382	0.383	0.27
Ag	0.0072	0.0074	0.0073	0.0073	0.0073	0.96
Pb	0.0044	0.0046	0.0045	0.0045	0.0045	0.88

x̄ — o‘rtacha qiymat; RSD — nisbiy standart og‘ish; barcha RSD < 1% — o‘lchov ishonchliligini tasdiqlaydi.

Barcha elementlar uchun RSD < 1% — Rigaku NEX CG ning metallurgik namunalar uchun yuqori takroriyligini tasdiqlaydi. Mis uchun RSD = 0.02% — nihoyatda past. Iz elementlar (Ag, Pb) uchun RSD ~ 1% — qabul qilinadi.

XRF va ICP-OES natijalarini solishtirish

XRF natijalarining ishonchliligini tekshirish uchun ICP-OES usuli (HNO_3:HCl = 1:3 da eritish, 3 takroriy o‘lchov o‘rtachasi) bilan solishtirmali tahlil o‘tkazildi.

5-jadval.

XRF va ICP-OES natijalarini solishtirish

Element	XRF (mass%)	ICP-OES (taxm.%)	Farq (%)	LLD (XRF)	Izoh
Cu	97.5	97.1–97.9	<0.8	—	Asosiy komponent
S	0.803	0.78–0.82	<3.0	0.0012	Muvofiq
Si	0.642	0.60–0.68	<6.5	0.0026	Muvofiq
Cl	0.422	0.40–0.44	<5.2	0.0012	Muvofiq
Zr	0.383	0.37–0.40	<3.5	0.0021	Muvofiq
Ag	0.0073	0.007–0.008	<5.0	0.0010	Muvofiq
Pb	0.0045	0.004–0.005	<10	0.0012	Past konsentr.

ICP-OES qiymatlari namunani eritish (HNO_3:HCl = 1:3) va 3 takroriy o‘lchov o‘rtachasi asosida olingan.

Barcha elementlar uchun XRF va ICP-OES farqi 10% dan kam — bu XRF/FP usulining metallurgik mis namunalari uchun ishonchliligini tasdiqlaydi.

ISSN 3030-3907

Eng katta farq Pb uchun (~10%) past konsentratsiya va matritsa effekti bilan izohlanadi.

LOD va LOQ hisoblash

IUPAC tavsiyalariga muvofiq, aniqlab olish chegarasi (LOD) va miqdoriy tahlil chegarasi (LOQ) quyidagi formulalar bo‘yicha hisoblandi:

$$LOD = 3\sigma / S \qquad LOQ = 10\sigma / S$$

Bu yerda σ — xolis nurlanish standart og‘ishi, S — kalibrovka nishabligi. Namunada barcha 10 ta element LOQ dan yuqori konsentratsiyada aniqlandi — natijalar to‘liq miqdoriy ishonchlilikka ega.

XULOSA.

–Rux metallurgiyasining ohakli ruxli shlamlarini kompleks qayta ishlash uchun yetti bosqichli gidro-elektrometallurgik sxema ishlab chiqildi: ZnO → H_2SO_4 eritish → $ZnSO_4$ elektrolizi (Zn) → $Ca(OH)_2$ neytrallash → HNO_3 eritish → NH_4OH selektiv neytrallash (Fe, Al cho‘kadi, Cu-ammiakat kompleksi eritmada) → elektroliz (mis) → XRF tahlili.

–$ZnSO_4$ eritmasidan elektroliz yo‘li bilan ruxning ajralish samaradorligi 90–93% ni tashkil etdi. Qolgan kislotali eritma qayta ishlatildi yoki neytrallash bosqichiga yuborildi.

–HNO_3 da eritish natijasida shlamdagi misning 94–96% i eritmaga o‘tdi. NH_4OH bilan selektiv neytrallash Fe va Al ni cho‘ktirdi; Cu $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ kompleksi sifatida eritmada saqlanib qoldi.

–Cu-ammiakat eritmasini elektroliz qilish orqali olingan mis mahsulotida XRF tahlili Cu — 97.5 mass% ni aniqladi; bu M3 markali texnik mis yoki mis yarim fabrikatiga mos ko‘rsatkich.

–S (0.803%), Si (0.642%), Cl (0.422%), Zr (0.383%) kabi aralashmalarning yuqoriligi keyingi elektrolitik rafinurovka zarurligini ko‘rsatadi; Ag (0.0073%) ni alohida ajratib olish iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq.

–XRF/FP usulining RSD < 1% va ICP-OES bilan farq < 10% ekanligi AGMK da metallurgik mahsulotlar sifatini tezkor nazorat qilish uchun bu usulning samaradorligini isbotlaydi.

–Ishlab chiqilgan texnologik sxema rux zavodi chiqindilarini qayta ishlashda ikkalasini — rux va misni — birga ajratib olish imkonini beradi, bu iqtisodiy va ekologik jihatdan muhim hissadir.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Davis J.R. (Ed.) Copper and Copper Alloys. — Materials Park: ASM International, 2001. — 652 p.
2. Kawabe H., Miyakawa M., Inoue Y. Properties of Cu-Zr alloys at elevated temperature // Journal of Japan Institute of Metals. — 2003. — Vol. 67, No. 8. — P. 432–438.

ISSN 3030-3907

3. Xalezov B.D., Vatolin N.A., Makurin Yu.N., Bykov N.A. Izvlechenie tsinka iz rastvorov vyshchelachivaniya medno-tsinkovyx rud. — Yekaterinburg: UrO RAN, 2005. — 312 s.
4. Toporkova Yu.G. Kompleksnaya pererabotka tsinksoderzhaschey pyli staleplavil'nogo proizvodstva v ammiachnoxloridnyx sredax: diss. kand. texn. nauk. — Yekaterinburg: UrFU, 2021. — 137 s.
5. Pan'shin A.M., Shakirzyanov R.M., Izbrekht P.A. Osnovnye napravleniya sovershenstvovaniya proizvodstva tsinka na OAO "Chelyabinskiy tsinkovyy zavod" // Tsvetnye metally. — 2015. — No. 5. — S. 19–21.
6. Ma Y., Liu X., Wan L. Separation and recovery of zinc from copper-based alloy scraps under vacuum conditions // Vacuum. — 2014. — Vol. 106. — P. 5–10.
7. IUPAC. Nomenclature, symbols, units and their usage in spectrochemical analysis // Spectrochimca Acta Part B. — 1978. — Vol. 33, No. 6. — P. 241–245.
8. Moseley H.G.J. The high-frequency spectra of the elements // Philosophical Magazine. — 1913. — Vol. 26, No. 156. — P. 1024–1034.
9. Beckhoff B., Kanngieber B., Langhoff N. et al. Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis. — Berlin: Springer, 2006. — 863 p.
10. Rigaku Corporation. NEX CG Application Note: EDXRF Spectrometer with Secondary Target Technology. — Tokyo: Rigaku, 2022.
11. Criss J.W., Birks L.S. Calculation methods for fluorescent X-ray spectrometry // Analytical Chemistry. — 1968. — Vol. 40, No. 7. — P. 1080–1086.
12. Major S., Randi D. Fundamental parameter method accuracy for metallic alloy analysis by EDXRF // X-Ray Spectrometry. — 2005. — Vol. 34, No. 4. — P. 356–363.
13. Pops H. The Metallurgy of Copper Wire. — Guilford: Wire Association International, 1997. — 112 p.
14. GOST 859-2014. Med'. Marki. — Moskva: Standartinform, 2014.
15. Garcia-López J. et al. Evaluation of repeatability and uncertainty in EDXRF analysis of metallic alloys // Spectrochimica Acta Part B. — 2019. — Vol. 159. — P. 105650.
16. Lide D.R. (Ed.) CRC Handbook of Chemistry and Physics. 84th ed. — Boca Raton: CRC Press, 2003.
17. Wilk M. Zinc evaporation from brass scraps in the atmosphere of inert gas // Materials. — 2023. — Vol. 16, No. 14. — P. 5178.
18. Kerry T. Zinc vaporization and self-reduction behavior of industrial waste residues // Journal of Sustainable Metallurgy. — 2022. — Vol. 8. — P. 658–672.

ISSN 3030-3907