



UDK: 546.56:543.3

Rustamjon MIRZAXMEDOV,

Olmalıq davlat texnika inıtiuti dotsenti, PhD

E-mail: rustam.mirzaxmedov23@mail.ru

Doniyor XOLIKULOV,

Olmalıq davlat texnika inıtiuti professori, t.f.d

Farxod JO‘RAYEV,

Toshkent tibbiyot akademiyasi akademik litseyi kimyo fani katta o‘qituvchisi, PhD

O‘zbekiston milliy universiteti professori, k.f.d Z. Smanova taqrizi asosida

DEVELOPMENT OF AN ENVIRONMENTALLY FRIENDLY AND HIGHLY EFFICIENT METHOD FOR THE SEPARATION OF COBALT (II), COPPER (II), NICKEL (II), AND CADMIUM (II) IONS FROM CADMIUM – COBALT - NICKEL CAKES GENERATED AT THE ZINC PLANT OF “ALMALYK MMC” JSC

Annotation

In this article, information is presented on the methods of concentrating and separating cobalt (II), copper (II), nickel (II), and cadmium (II) ions, the industrial technologies for producing cobalt (II), copper (II), nickel (II), and cadmium (II) ions, as well as the composition of their minerals. In addition, data are provided on the types of wastes generated during the production process at the Zinc Plant of “Almalyk MMC,” including zinc cake, hydrate cake, and cadmium–cobalt–nickel cakes, along with their chemical composition and separation methods. Although ores and industrial wastes containing cobalt are available, the metal is still not being introduced into industrial production in its metallic form. With the continuous development of industry, intermediate products known as cakes accumulate as industrial waste, posing a serious environmental threat. These intermediate products contain up to approximately 2.03% cobalt metal, and from such cakes it is possible to extract 6 tons of cobalt per week, 24 tons per month, and 280–300 tons per year.

РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО И ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО МЕТОДА РАЗДЕЛЕНИЯ ИОНОВ КОБАЛЬТА (II), МЕДИ (II), НИКЕЛЯ (II) И КАДМИЯ (II) ИЗ КАДМИЕВО-КОБАЛЬТОВО-НИКЕЛЕВЫХ КЕКОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ НА ЦИНКОВОМ ЗАВОДЕ АО “АЛМАЛЫКСКИЙ ГМК”

Аннотация

В данной статье представлены сведения о методах концентрирования и разделения ионов кобальта(II), меди(II), никеля(II) и кадмия(II), технологиях промышленного получения ионов кобальта(II), меди(II), никеля(II) и кадмия(II), а также о составе их минералов. Кроме того, приведены данные о видах отходов, образующихся в процессе производства на Цинковом заводе АО «Алмалыкский ММК», включая цинковый кек, гидратный кек, а также отходы, известные как кадмиево-кобальтово-никелевые кеки, об их химическом составе и методах их переработки. Несмотря на наличие руд и промышленных отходов, содержащих кобальт, внедрение его получения в металлическом состоянии в промышленное производство пока не осуществляется. Постоянное развитие промышленности приводит к накоплению промежуточных продуктов, называемых кеками, что представляет серьезную экологическую угрозу. Данные промежуточные продукты содержат до приблизительно 2,03 % металлического кобальта, и из таких кеков возможно извлекать 6 тонн кобальта в неделю, 24 тонны в месяц и 280–300 тонн в год.

“OLMALIQ KMK” AJ RUX ZAVODIDA HOSIL BO‘LADIGAN KADMIY – KOBALT - NIKEL KEKLAR TARKIBIDAN KOBALT (II), MIS (II), NIKEL (II) VA KADMIY (II) IONLARINI EKOLOGIK TOZA VA YUQORI SAMARALI AJRATISH USULINI ISHLAB CHIQUISH

Annotatsiya

Ushbu maqolada kobalt (II), mis (II), nikel (II) va kadmiy (II) ionlarini konsentirlash va ajratib olish usuli, sanoatda kobalt (II), mis (II), nikel (II) va kadmiy (II) ionlarini ishlab chiqarish texnologiyasi va menerallarining tarkibi haqida ma‘lumotlar taqdim etilgan. Bundan tashqari, “Olmalıq KMK” Rux zavodida ishlab chiqarish jarayonida hosil bo‘ladigan rux keki, gidrat keki bundan tashqari kadmiy-kobalt-nikel keklari deb ataluvchi chiqindilarning turlari va eritmalarining kimyoviy tarkibi hamda ularni ajratib olish usullari, tarkibida kobalt saqlagan rudalar va sanoat chiqindilari mavjud bo‘lsada, kobalt metall holatida ishlab chiqarishga joriy qilinmayapdi. Sanoatning yildan yilga rivojlanib borayotgani oraliq mahsulot keki deb ataluvchi sanoat chiqindilar toplanib borayotgani ekalogiyaga jiddiy havf solmoqda, tarkibida kobalt metallining miqdori taxminan 2,03 % gacha bo‘lgan oraliq mahsulot sifatida mavjud bo‘lib, keklaridan haftasiga 6 t, 1 oyda 24 t, yiliga 280-300 t tonna kobalt metallini ajratib olish imkonini beradi.

Kalit so‘zlari: Kobalt (II), mis (II), nikel (II) va kadmiy (II) ionlarini, 2-nitrozo-1-naftol, ditizon, Cyanex 272, NaHS, (NH₄)₂S, Na₂CO₃ analitik reagent, ajratish va konsentirlash usullar, pirometallurgiya, gidrometallurgiya, ekstraksiya, sementatsiya aniqlash usullari.

Kirish. Hozirgi sanoatning jadal rivojlanib borayotgan vaqtda, atrof-muhitda to‘planib, tirik organizmlarning sog‘lig‘iga salbiy ta‘sir ko‘rsatadigan eng xavfli ifloslantiruvchi moddalardan biri – og‘ir metallardir. Kobalt (II), mis (II), nikel (II) va kadmiy (II) ionlarini tabiatan qimmatbaho metallar guruhiga kirishi va ko‘plab texnologik sohalarda, jumladan, batareyalar,

supero'tkazgichlar, katalizatorlar, tibbiyot va aerokosmik sanoatda keng qo'llanilishi bois, uning sanoat miqyosida qazib olinishi va qayta ishlashi kundan-kunga ortib bormoqda, bundan tashqari rudalarni qazib olish va qayta ishlash jarayonlarida kobaltning eriydigan va kimyoviy faol shakllari kobaltning chiqindilardan samarali va ekologik toza usullarda ajratib olinishi dolzarb muammo hisoblanadi.

Kobaltning sulfat-xlorid va sulfat eritmalaridan ajratib olish usuli yoritilgan, eksperiment olingan natija shuni ko'rsatdiki yuqori tozalikka ega CoSO_4 (kobalt sulfat) va MnSO_4 (mangan sulfat), shuningdek ularning kristallgidratlari $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ va $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ishlatilgan. Xlorid eritmalarini tayyorlashda CoCl_2 (kobalt xlorid) yoki NaCl (natriy xlorid) tuzlaridan foydalanilgan. Tadqiqotlar stasionar (doimiy) rejimda olib borilgan, boshlang'ich elektrolitdagi metall ionlari konsentratsiyasi quyidagicha 20–50 Co va 1–10 Mn (g/dm^3), tok kuchi $I = 1 \text{ A}$, $\text{pH} = 1,1\text{--}1,4$, harorat $50\text{--}60 \text{ }^\circ\text{C}$, jarayon uch bosqichda olib borilib, har bir bosqichning davomiyligi I – 5–6, II – 5–6, III – 5–6 soat tashkil qilgan [1; 2].

Mazkur tadqiqotda suv namunalardagi Co (II) ionlarini aniqlashdan avval ularni oldindan boyitish maqsadida yangi avlod yashil erituvchi – tabiiy chuqur evtektik eritma (NADES) qo'llanilgan. NADES tarkibi vodorod bog'ini qabul qiluvchi sifatida kamfor va donor sifatida mentoldan iborat bo'lib, bu ekstraksiya uchun qulay yaratishdan, Co (II) ionini 8-gidroksoxinolin bilan kompleks hosil qilishi, suyuqlik-suyuqlik mikroekstraksiya (AA-DLLME) usuli orqali NADES fazasiga o'tkazish ishlari yoritilgan [3; 4].

Ushbu tadqiqotda er usti suvlari va dengiz suvlarida oz miqdorda uchraydigan kobalt va nikel ionlarini ajratish hamda boyitish uchun xelatlashtiruvchi reagent sifatida 1-(2-piridilazo)-2-naftol (PAN) tanlangan. Ekstraksiya jarayoniga ta'sir etuvchi asosiy parametrlar (pH , PAN konsentratsiyasi, ekstraksiya vaqti, aralashtirish tezligi, harorat, namuna hajmi va erituvchi tabiati) optimallashtirilgan. Optimal sharoitda Co (II) va Ni (II) uchun mos ravishda 502 va 497 boyitish koeffitsienti, shuningdek, 0,4 va 0,3 mg/l aniqlash chegaralari qayd etilgan [5; 6].

Mazkur tadqiqotda Zn (II), Co (II), Ni (II) va Pb (II) ionlarini oldindan konsentratsiyalash va bir vaqtning o'zida ekstraksiyasiga asoslangan oddiy va samarali usul ishlab chiqilgan. Ekstraksiya jarayoni $\text{pH}=8,5$ da, 2-guanidino benzimidazol yordamida amalga oshirilgan bo'lib, bu tadqiqot ishida Triton X-114 esa sirt faol moddasi sifatida qo'llanilgan. Asosiy parametrlarning (pH , ligand va sirt faol modda konsentratsiyasi) ta'siri baholan, 50 ml namunani konsentratsiyalash natijasida Zn, Ni, Co va Pb uchun mos ravishda 8,8; 4,9; 7,8 va 11 mg/ml aniqlash chegaralari hamda 13; 15,5; 15 va 29,6 baravar boyitish koeffitsientlari qo'lga kiritilgan [7].

Ushbu tadqiqotda Co (II), Fe (III) va Al (III) ni turli eksperimental parametrlarning ekstraksiya samaradorligiga ta'siri, shu jumladan qabul qiluvchi erituvchi, aralashtirish tezligi, ligand konsentratsiyasi, tuzlash effekti va ekstraksiya vaqti o'rganilgan, kalibrlash grafiklari mos ravishda Co (II) va Al (III) uchun $1\text{--}300 \text{ mkg L}^{-1}$ va $0,8\text{--}250 \text{ mkg L}^{-1}$ oralig'ida, Fe (III) uchun chiziqli dinamik diapazon mos ravishda $1\text{--}100 \text{ mkg L}^{-1}$ aniqlangan. Aniqlanish chegaralari (LOD) $0,38\text{--}0,81 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ oralig'ida namunalardagi nisbiy tiklanish mos ravishda 2,68%–4,58% va 88,0–104% ni tashkil etgan [8–9].

II. Ishning umumiy metodologiyasi

2.1. Ishlatiladigan asbob-uskunalar va tadqiqot obyekti

1. Rigaku NEX CG II EDXRF rentgen-fluorescent spektrometr yordamida nikel - kobalt keki namunasi tarkibida kobalt (Co) metallini –umumiy massasining 2.10% qismini, nikel (Ni) – 1.31% massaviy ulushni tashkil qilish bilan birqator boshqa og'ir metallardan Zn (35.4%), Cd (21.5%), Cu (16.6%), Sb (11.1%) ham mavjud bo'lib, bu sanoat chiqindilari yoki ikkilamchi xomashyo uchun sezilarli miqdordir va uni qayta ishlash imkonini beradi.

2. IQ-spektrometr “Bruker INVENIO S Furye” (Germaniya) yordamida tadqiqot natijasida foydalanilgan organik reagentlarni kobalt metalli bilan hosil bo'ladigan komplekslari natijalari o'rganildi.

3. Tanlab eritish orqali (mg/l) sanoat (nikel-kobalt) keki tarkibidagi kobalt (II) ionini 228,616 nm va nikel (II) ionini 221,647 nm da ISP spektrometr – iCAP 7000 Series (Thermo) tahlil natijasi o'rganilgan

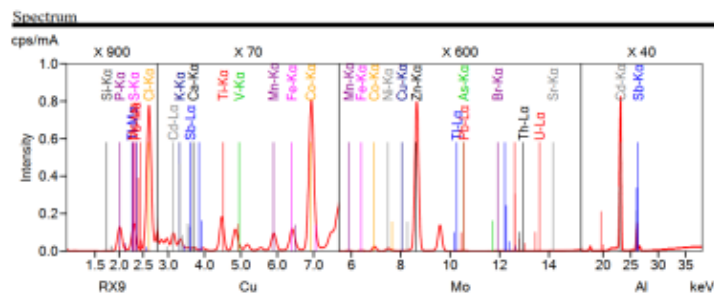
4. Tanlab eritish orqali ajratib olingan kobalt (II) ionini 511,29 nm da zarrachalar hajmi va zeta potentsial, zarrachalar hajmini aniqlandi va taqsimlash (BI-SM50 NanoBrook Zarrachalarning xususiyatlarini, jumladan, hajmi, shakli, sirt zaryadi) tahlil natijasi

5. Rigaku MiniFlex 300/600 difraktometri yordamida 40 kV, 15 mA quvvatda rentgen nurlanishi ostida tahlil qilindi. 2 θ burchak oralig'i 3 $^\circ$ –120 $^\circ$ oralig'ida olib borildi.

2.2. “Kimyoviy moddalar va reaktivlar”

Tajriba davomida sanoat (nikel-kobalt) keki, 4:1 nisbatdagi HCl kislotasi (400 ml HCl ga 100 ml distillangan suv), H_2SO_4 ni suyultirib oldik (950 ml distillangan suvga 50 ml H_2SO_4 qo'shiladi), distillangan suvdan foydalanildi. Kobalt (II) ionining (Co^{2+}) 1 gr/l konsentratsiyadagi standart eritmasini tayyorlash uchun kerakli miqdordagi $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ tuzini distillangan suvda eritish orqali tayyorlandi. Metall ionini bilan kompleks hosil qiluvchi reagent sifatida 2-nitroza 1-naftol 3,6-disulfo kislota 96 % (s/s) konsentratsiyada etanolda eritildi. pH qiymatini nazorat qilish uchun Sirka kislotasi (CH_3COOH), natriy atsetat (CH_3COONa), ammiy gidroksid (NH_4OH), xlorid kislotasi (HCl), natriy gidroksid (NaOH) kimyoviy moddalar ishlatildi.

Kobalt (II) ionini tajribada aniqlash uchun rentgen-fluorescent usulda analiz bajarildi, natijada Co^{+2} ionini uchun ko'rsatilgan to'liq uzunliklari bilan analitik spektral chiziqlar olindi.



1- rasm. Kobalt (II) ionlarining standart namunasini rentgen-fluorescent spektri.

1-jadval

№	Zn	Cu	Ni	Co	Cd	Sb	Fe	Mn	v.b
%	35.4	16.6	1.31	2.10	21.5	11.1	0.612	0.166	-

1-rasm va 1-jadvalda kobalt (II) ionini namunasi rentgen-fluorescent spektri olindi va solishtirilganda maksimal intensivligini yuqoriligi tajriba orqali topildi. Olingan natijalarni kobalt (II) ionlari uchun 2-jadvalda natijalar keltirilgan.

2-jadval

Eritmadagi kobalt (II) ionlarini to'liq uzunligi		
Aniqlanadigan element	IQ to'liq uzunligi, λ_{nm}	UB to'liq uzunligi, λ_{nm}
Kobalt (II) ionlari	235	360

Keyingi tajribalarda aynan shu to'liq uzunligidan foydalanamiz. Taklif qilinayotgan tajriba ishni solishtirish maqsadida nikel (II) va kobalt (II) ionlarini tajribada aniqlash uchun IQ av UB spektrometr (SHIMADZU UV-2600 Series) usul bilan analiz qilindi.

3.1 Eritmalarni tayyorlash.

3.1. Sanoat (nikel-kobalt) keki tarkibidagi kobalt (II) ionini eritmasining konsentrlash va ajratib olishning optimal sharoitlarini tanlash.

H₂SO₄ eritmasi tayyorlandi (950 ml distillangan suvga 50 ml H₂SO₄ qo'shiladi), so'ngra 600 ml suyultirilgan H₂SO₄ ga, sanoat yarim mahsuloti (nikel-kobalt) kekidan 200 gr solib eritma tayyorlandi. Tajriba magnitli mishalkada 1 soat davomida 25-60 °C haroratda eritma tayyorlandi va filtrlandi. Tajriba natijasida Cd, Cu, Sb, Zn, Co, Ni pH=3-5.9 metallar eritma tarkibida konsentratsiyasini ortishi kuzatiladi. Tayyorlangan eritmani 20-24 soat davomida temir metalli yordamida sementatsiya jarayoni amalga oshiriladi, bu jarayonda mis metalli eritmadan ajralib chiqishi, eritmani rangi och binafsha tusiga o'tadi va eritma yana filtirlanadi. So'ngra eritmani pH muhitini NaOH yordamida 3.9-4.2 ga keltiriladi, yana eritmani filtrlanadi, eritma tarkibidagi Fe²⁺ ionini bartaraf qilish maqsadida ozon kompressor yordamida oksidlandi, jarayonda temir (III) gidroksid cho'kishi kuzatildi. Eritma pH muhitini 4.2-5.9 ga ko'tarish orqali eritma tarkibida cho'kmani juda ko'p miqdorda ajralishi, eritma rangi yasil tusga o'tishi, so'ngra filtirlash jarayoni 3/4 marta takrorlash orqali eritma rangi to'q pusti rangga o'zgardi. Tajriba davomida gidrazin eritmasidan (200 ml dis suv 5 g gidrazin) qo'shildi va elektroliz jarayoniga tayyorlandi, qora rangli cho'kma tushushi, cho'kma magnitga tortilishi orqali ajratib olindi.

§ 3.2 Mis (II), kobalt (II) nikel (II) va kadmiy (II) metallarini ajratib olish uchun tabiiy obyektlarda tajriba olib borish

“Olmaliq KMK” AJ Rux zavodining kadmiy ishlab chiqish jarayonida hosil bo'ladigan kadmiy – kobalt – nikel keki (Cd – 12,4 %, Co – 0,652 – 2,10 %, Cu – 0,895 %, Ni – 0,0607 %, Zn – 74,5 %, Sb – 11,1 %), gidrat keki (Cd – 45,0 %, Co – 0,0614 %, Cu – 25,0 %, Ni – 0,0458 %, Zn – 12,7 %) tarkibidagi mis (Cu), kobalt (Co), nikel (Ni) va kadmiy (Cd) metallarni ajratib olish bosqicha bosqich kerakli reaksiya mexanizmlari orqali amalga oshirildi. Sanoat yarim mahsuloti tarkibidagi metallarni ajratib olish uchun tanlab eritish suyultirilgan sulfat kislotasi tanlab eritiladi. Sanoatda bu aylanma eritmalarining xosil bo'lishi sutkasiga 6 t tashkil etadi. Aylanma eritmaning kimyoviy taxlil natijalari quyidagi 3-jadvalda keltirilgan.

3-jadval

Kadmiy – kobalt – nikel keki tarkibidagi metallarni massa ulushi, %									
Zn	Cd	Pb	Cu	Fe	SiO ₂	Co	Ni	In	Sb
35,4-36,0	2,5-8,0	0,2-0,5	3,5-10,0	0,4-0,9	0,2-1,2	0,02-0,06	1,31	0,001-0,0015	0,1-0,15

3-jadvaldagi natijalardan ko'rinib turibdiki, analiz uchun olingan namuna tarkibida asosan kerakli metall ionlarini eritma tarkibida qoldirib, keraksiz metall ionlarini cho'kma xolatida qoldirish natijasida, eritma konsentratsiyasi ancha yuqori bo'lishiga sabab bo'ldi.

Mis (II), kobalt (II), nikel (II) va kadmiy (II) metall ionlarini tajribaning keyingi bosqichlariga olib borish uchun namunani tanlangan eritmada eritishda asosan kobalt (II) metall ionini (rux, qorg'oshin, temir, surma va boshqalar) aralashmalaridan ajratib olish uchun NO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻ foydalaniladi, olingan natijalarning taxlili 4-jadvalda keltirilgan.

4-jadval

Namuna tarkibi	mg/l				pH
	%	NO ₃ ⁻ 0,75 l (7,5 %)	SO ₄ ²⁻ 1 l (10%)	Cl ⁻ 0,5 l (33%)	
Cu	3,5	244	230,9	111,1	1,5-2,4
Co	0,02	316	238	80,0	4,5-6,2
Ni	1,31	233	145	80,4	4,8-5,2
Cd	2,5	2500	3290	2440	7,4-8,5

4-jadval natijalari keltirilgan ma'lumot, tadqiqot uchun olingan namunalar tarkibida mis, kobalt, nikel va kadmiy metall ionlarini eritmaga o'tkazishda asosan tajribalar quyidagi nitrat, sulfat va xlorid kislotalar orqali eritmadagi umumiy konsentratsiyani sezilarli darajada oshirishga erishildi, ayniqsa o'tqazilgan tajribada nitrat kislotasi (HNO₃) foydalanish orqali olingan eritma tarkibidagi metall ionlarini konsentratsiyasini yuqoriligi bilan boshqa tajribalarga qaraganda ustunligi bilan ajralib turadi. Tadqiqot natijalarida nitrat kislotasi (HNO₃) sharoitida namuna yuqori erituvchanlikka va keying jarayonlar uchun barqaror kompleks hosil bo'lishi imkoniyatlari o'rganildi, ammo bu kislotali muhitda ishlash ba'zi quyidagi kamchiliklarga egaligi tajriba davomida kuzatildi. Bunda nitrat kislotasi tajriba davomida konsentratsiyasi oshishi metall ionlarini oksidlab yuborish hossasi yuqoriligi, eritma tarkibida ion kuchning oshishi va oksidlovchi xususiyatlar tufayli boshqa halaqit qiluvchi metallning oksidlanish darajasiga ta'sir ko'rsatishi sezilarli darajada ta'siri sezildi, shuningdek, ishlab chiqarishda hamda ekologik jihatdan bir qancha muammolarga sabab bo'lishini e'tiborga olish lozim. Shu sababli, sanoatda optimal tajriba olib borishda hamda iqtisodiy jihatdan samaradorlikka erishish nuqtai nazaridan eng yaxshi muhit bu sulfat kislotasi (H₂SO₄) asosidagi tajribalarni olib borish, eritish jarayonlariga ko'proq metall ionlariga muhitining selektivligi, amaliy jihatdan barqarorligi va atrof-muhitga salbiy ta'sirini inobatga olib talab olindi.

Xulosa. Kobalt, boshqa muhim elementlar kabi, bugungi kunda ahamiyat kasb etmoqda. Katta texnologik yutuqlar va ushbu elementning fizik-kimyoviy xususiyatlarini chuqur bilish uning turli sohalarda qo'llanilishini kengaytirishga imkon berdi, masalan: katalizatorlar, bo'yoqlar, mexanik va aerokosmik sanoat uchun qotishmalar, shuningdek, tibbiyot sohasi va so'nggi paytlarda uni qayta zaryadlanuvchi batareyalar sanoatida qo'llash, natijada bu ishning dolzarbligini yanada asoslaydi.

ADABIYOTLAR

1. Л.П.Хоменко Л.А.Воропанова, Электроэкстракция кобальта из сульфатно-хлоридных и сульфатных растворов кобальта и марганца в статических условиях // Санкт-Петербург. 2016 ISSN 0135-3500. Записки Горного института. Т.217.
2. Р.М. Мирзахмедов, Н.К Мадусманова, Ф.Б Мирусманова Имобилланган янги 2, 4, 6-три (2-пиридил)-s-триазин ҳосилалари билан темир (III) ионини аниқлашнинг сорбцион-спектроскопик усулларини ишлаб чиқиш. Innovative, educational, natural and social sciences, 2022.
3. Р.М. Мирзахмедов, Ф.Б Мирусманова “Олмалик КМК” АЖ корхонаси саноат кеки таркибидан никель ва кобальт ионларини сорбцион-фотометрик аниқлаш. Образование наука и инновационные идеи в мире, 2023.
4. Mahboubeh Sh.B., Shayessteh D., Ali Mohammad H.Sh., Solidified floating organic drop microextraction (SFODME) for simultaneous separation/preconcentration and determination of cobalt and nickel by graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAAS) // Analytical Methods: Advancing Methods and Applications 13 (5): 703–11. doi: 10.1039/D0AY02264K.
5. Z.A Smanova, N.I Nosirov, R.M Mirzaxmedov Sorbtion-Photometric Determination of rhenium ion using Immobilized Organic Reagent // International Journal of Advanced Research in Science, 2020.
6. Р.М Мирзахмедов, З.А Сманова, Д.Б Холикулов, Ф. Х. Жўраев, Разработка сорбционно-фотометрического метода определения иона кобальта (II) в промышленных сточных водах АО “Алмалыкский ГМК” // Universum: химия и биология, 2025.
7. Matin A.A., Nouriniya N., Habibi B., Ayazi Z., Marzi E.K., Hollow fiber supported liquid phase microextraction of Co (II), Fe (III) and Al (III) as their oxinate chelates from water and dried tea leaves followed by HPLC–UV analysis // Journal of Food Measurement and Characterization 14 (4):1850–6.
8. Memon Z.M., Yilmaz E., Soylyak M., Switchable solvent based green liquid phase microextraction method for cobalt in tobacco and food samples prior to flame atomic absorption spectrometric determination // Journal of Molecular Liquids 229:459–64.
9. D.Kholikulov, Sh.Khojjiyev, R.Mirzaxmedov, A.Kambarov, S.Rakhimov, The issue of metal extraction during ozonation purification of copper production process solutions // Journal of Chemical Technology and Metallurgy (Scopus), 61, 1, 2026, 175-181