Ilmiy tadqiqotlar va ularning yechimlari jurnali
Aoka guvohnoma № 323759 ISSN: 3060-4818

“OLMALIQ KMK” AJ KORXONALARINING TEXNOGEN CHIQINDILARINI QAYTA ISHLASH

Kamolov Ulug‘bek Olimjon o‘g‘li
Toshkent davlat texnika universiteti
Metallurgiya kafedrasi 2-bosqich magistranti
Nuraliyev Oybek Ulug‘bek o‘g‘li
PhD
Toshkent davlat texnika universiteti
Metallurgiya kafedrasi dotsenti
https://doi.org/10.5281/zenodo.24072488

Annotatsiya: Maqolada “Olmaliq KMK” AJ korxonalarida hosil bo‘ladigan va to‘plangan texnogen chiqindilar – mis shlaklari, rux ishlab chiqarishi klinkeri, boyitish fabrikalari chiqindilari hamda shlam va changlarning tarkibi, ularni qayta ishlash texnologiyalari va ekologik jihatlari tahlil qilingan. Ilmiy adabiyotlar va korxona ma’lumotlari asosida mis shlaklarida 0,77–0,97 % mis, konverter shlaklarida 2,0–3,5 % mis saqlanishi, klinkerning esa ham qaytaruvchi, ham qimmatbaho metallar manbai bo‘la olishi ko‘rsatilgan. Konverter shlakini klinker yordamida oldindan qaytarish, Vanyukov pechida to‘g‘ridan to‘g‘ri eritish, flotatsiya, temirni ajratib olish va platinoidlarni selektiv ajratish usullari qiyosiy baholangan. Natijalar asosida chiqindilarni kompleks qayta ishlashning bosqichli sxemasi taklif etilgan.

Kalit so‘zlar: texnogen chiqindi, mis shlaki, konverter shlaki, klinker, Vanyukov pechi, flotatsiya, boyitish fabrikasi chiqindilari, platinoidlar, ikkilamchi xomashyo, Olmaliq KMK.

KIRISH

Rangli metallurgiyada yuqori navli va oson qayta ishlanadigan rudalar zaxirasi kamayib borayotgani sababli ishlab chiqarishga sanoat chiqindilari, murakkab tarkibli rudalar va past navli ag‘darmalar tobora ko‘proq jalb etilmoqda [18]. Mis ishlab chiqarishning o‘zida ham chiqindi miqyosi juda katta: mualliflar hisobiga ko‘ra, dunyoda har yili 39 million tonna mis eritish shlaki hosil bo‘lib, ag‘darmalarga chiqariladi [11]. Bunday shlaklar katta yer maydonlarini egallaydi, ko‘pincha aholi punktlariga yaqin joylashadi va atrof-muhitga zararli moddalar ajratishi mumkin, ayni vaqtda ularda qoldiq mis va kobalt saqlanadi [11].

O‘zbekistonda bu masala birinchi navbatda “Olmaliq KMK” AJ bilan bog‘liq. Ko‘p yillik faoliyat davomida kombinatda 7 million tonnadan ortiq mis ishlab chiqarish ag‘darma shlaklari to‘plangan [8], boyitish fabrikalarida esa har yili o‘n millionlab tonna chiqindi hosil bo‘ladi [16]. Korxona ma’lumotlariga ko‘ra, 2024-yilga kelib mis eritish zavodining 700 ming tonnadan ortiq shlak chiqindilari 2-mis boyitish fabrikasida qayta ishlangan va ulardan qimmatbaho metallar ajratib olingan, shlakni qayta ishlashdan hosil bo‘lgan 480 ming tonna temirli chiqindini sement zavodlariga ikkilamchi xomashyo sifatida sotish yo‘lga qo‘yilgan [13].

Muammoning ekologik tomoni ham dolzarb. Tadqiqotlarda Olmaliq hududida besh o‘n yildan ortiq davr mobaynida karyerlar, ag‘darmalar, mis eritish zavodi shlak omborlari va mis boyitish fabrikalari chiqindixonalaridan ifloslangan suvlar sizib o‘tishi natijasida grunt suvlariga ifloslantiruvchi

komponentlar kirib borishi qayd etilgan [4]. Sanoat korxonalari ta’sirida tuproq va o‘simliklarning og‘ir metallar bilan ifloslanishi ham alohida o‘rganilgan [5].

Maqolaning maqsadi “Olmaliq KMK” AJ texnogen chiqindilarining tarkibi va ularni qayta ishlash usullarini tahlil qilib, kompleks qayta ishlash yo‘nalishlarini asoslashdan iborat. Buning uchun chiqindilar tarkibi umumlashtirildi, qayta ishlash usullari qiyoslandi va joriy etilgan yechimlarning ko‘rsatkichlari tahlil qilindi.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODOLOGIYA

Mis shlaklarini qayta ishlash bo‘yicha xalqaro tadqiqotlar bir necha yo‘nalishga ajraladi. Liu va hammualliflar shlakdan qimmatli metallarni olishning pirometallurgik kambag‘allashtirish, gidrometallurgik va boyitish usullarini hamda shlakning sement, beton to‘ldiruvchi va shisha-keramika materiallarida qo‘llanishini umumlashtirib, keng ko‘lamda qo‘llash mumkin bo‘lgan ekologik toza texnologiyalar hali cheklanganini ta’kidlaydi [9]. Chen va hammualliflar laboratoriya sharoitida 1250 °C haroratda koks va bioko‘mir bilan qaytarishda shlakdagi mis miqdorini 5 daqiqada taxminan 0,4–0,6 % gacha pasaytirishga erishgan [3].

Boyitish fabrikalari chiqindilarini qayta ishlash ham faol o‘rganilmoqda. Kasongo va hammualliflar 30 yildan ortiq saqlangan sulfidli flotatsiya chiqindilaridan optimal reagent sarfida 60 % dan yuqori ajratib olish va 8 % dan yuqori mis miqdoriga erishgan [7]. Shu bilan birga, bunday yechimlarning ekologik afzalligi avtomatik ravishda kafolatlanmaydi: Adrianto va Pfister mis chiqindilarini qayta ishlash yo‘llarini hayot sikli usulida baholab, doiraviy iqtisodiyot yondashuvlarining ekologik ustunliklari hali to‘liq aniq emasligini qayd etadi [2].

Olmaliq xomashyosi bo‘yicha asosiy ishlar shlak tarkibini o‘rganish va uni kambag‘allashtirish texnologiyalariga bag‘ishlangan. Sayitov va hammualliflar mis eritish zavodi shlaklarining kimyoviy va mineral tarkibini kompleks tahlil qilgan [15]. M.R. Yakubov va hammualliflar klinkerni konverter shlakidagi magnetitni qaytaruvchi va qimmatbaho metallar manbai sifatida qo‘llashni taklif etgan [20; 21]. Ochildiev va hammualliflar bu yondashuvni aks ettiruvchi pechda sanoat sharoitida sinagan [12]. Vokhidov va hammualliflar esa chiqindilardan platina guruhi metallarini ajratib olish masalasini tadqiq qilgan [18; 19].

Tadqiqotda ilmiy adabiyotlarni qiyosiy tahlil qilish, rasmiy ma’lumotlarni umumlashtirish va oddiy material balansi hisob-kitoblari qo‘llanildi. Manbalar Crossref va OpenAlex ilmiy bazalari, jurnal saytlari va korxona ma’lumotlari orqali aniqlandi; 2016-yildan oldingi nashrlar kiritilmadi. Tahlil asosan manbalarning annotatsiyalari va ochiq sahifalarida keltirilgan ko‘rsatkichlarga tayanadi, shuning uchun laboratoriya shartlarining barcha tafsilotlari qamrab olinmagan. Muallifning shaxsiy tajriba natijalari mazkur maqolada keltirilmagan, 3-jadvaldagi solishtirma ko‘rsatkichlar esa manbadagi yillik raqamlardan hisoblab chiqilgan.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Texnogen chiqindilarning asosiy turlari va tarkibi

Ko‘rib chiqilgan manbalar “Olmaliq KMK” AJ chiqindilarini bir xil xomashyo sifatida baholab bo‘lmasligini ko‘rsatadi. 1-jadvalda asosiy chiqindi turlari va ularning tarkibiga oid ma’lumotlar umumlashtirilgan.

1-jadval. “Olmaliq KMK” AJ texnogen chiqindilarining tavsifi

Chiqindi turi	Tarkibiga oid ko‘rsatkichlar	Qayta ishlash yo‘nalishi
Mis eritish shlaki [15]	Cu 0,77–0,97 %; Au 0,17–0,26 g/t; Ag 8,42–10,64 g/t; asosan fayalit va temir-silikat shisha	Flotatsiya, metallarni ajratish, qurilish materiallari
Eski mis shlaki [10]	Cu 2,0 % gacha; temir oksidlari 35 % dan ortiq	Temirli qotishma olish
Konverter shlaki [20; 21]	Cu 2,0–3,5 %; magnetit miqdori yuqori	Oldindan qaytarish va eritish
Rux klinkeri [20]	Metall temir va uglerod 50 % dan ortiq; Au 1–10 g/t; Ag 100–750 g/t	Qaytaruvchi va metall manbai
Boyitish chiqindilari [16; 17]	Al_2O_3, Fe_2O_3 va boshqa oksidlarga boy	Sement qo‘shimchasi, qimmatbaho metallarni ajratish
Qo‘rg‘oshin-vismut shlami [1]	Rux, mis va qo‘rg‘oshin saqlaydi	Kislotali tanlab eritish, qo‘rg‘oshin olish

Sayitov va hammualliflar ma’lumotiga ko‘ra, shlak namunalarida mis miqdori 0,77–0,97 % ni tashkil etib, mualliflar uni mis rudalaridagidan yuqori deb baholaydi [15]. Shlakning asosiy qismini fayalit, ferrosilit va temir-silikat tarkibli shishasimon massa tashkil etadi, ruda minerallari asosan magnetit bilan ifodalangan. Mis sulfidlari orasida bornit va xalkozin ustunlik qiladi, oltin esa aralashma sifatida tug‘ma mis va xalkozin tarkibida uchraydi hamda shlakni qayta ishlashda mis konsentratiga o‘tadi [15].

Klinker tarkibi manbalarda turlicha keltirilgan: bir ishda 1–10 g/t oltin va 100–750 g/t kumush [20], boshqasida 2,3 g/t oltin va 250 g/t kumush [21]. Bu farq klinker partiyalarining bir jinsli emasligini ko‘rsatadi, shuning uchun sanoat jarayonida shixtani hisoblashdan oldin har bir partiyani tahlil qilish zarur.

Konverter shlakini klinker bilan kambag‘allashtirish

Konverter shlaklarida mis miqdori 2,0–3,5 % bo‘lib, ular aylanma mahsulot sifatida aks ettiruvchi pechda 75 % mis ajratib olish bilan kambag‘allashtiriladi. Vanyukov pechi joriy etilgach, konverter shlakining bir qismi yana boyitish fabrikasiga yuborila boshlagan va bu holda shlakdan xomaki misga umumiy ajratib olish 50 % dan oshmagan [20]. Asosiy to‘siq shlakdagi magnetit bo‘lib, u shlakning qovushqoqligini oshiradi va shteyn tomchilarining cho‘kishini qiyinlashtiradi.

Taklif etilgan yechimda klinker magnetitni vustitgacha qaytaradi, tarkibidagi qimmatbaho metallar esa shteynga, so‘ngra xomaki misga 95–98 % gacha o‘tadi [21]. Yiriklik sinfi +5–10 mm bo‘lgan klinker qo‘llanganda 10–15 daqiqada magnetit miqdori 21,9 % dan 9,8 % gacha kamaygan. Qaytarilgan shlaklar Vanyukov pechida qayta ishlanganda misning miqdori konverter shlaklaridagi 2,2–3,5 % dan ag‘darma shlakda 0,58–0,72 % gacha pasaygan [21]. Boshqa ishda oldindan qaytarish orqali aks ettiruvchi pechda misni ajratib olishni 83 % gacha oshirish mumkinligi ko‘rsatilgan [20].

Yondashuv aks ettiruvchi pechda sanoat sharoitida ham sinalgan. Klinker va texnik oltingugurtdan iborat qaytaruvchi-sulfidlovchi aralashma bilan suyuq konverter shlaki oldindan ishlangach, u mis sulfid konsentrati bilan birga eritilgan va ag‘darma shlakdagi mis miqdori 0,82 % dan 0,45 % gacha kamaygan [12]. Mualliflar hisobiga ko‘ra, radiusi 200 mkm bo‘lgan shteyn tomchisi 50 sm qalinlikdagi shlak qatlamidan 2,56 soatda o‘tadi, shu sababli pechning shlak chiqarish bo‘sag‘asi 5 sm ga ko‘tarilgan [12].

Shlaklarni flotatsiya bilan boyitish

Flotatsiya kombinatda amalda qo‘llanilayotgan asosiy usullardan biridir: mis eritish zavodining eski shlaklari bir qismi 2-mis boyitish fabrikasida flotatsiya usulida qayta ishlanib, mis, oltin va kumush ajratib olinadi [8]. Xasanov va hammualliflar keltirgan ma’lumotlarga ko‘ra, Olmaliq konverter shlaklari flotatsiyasida misni ajratib olish 76,65 % dan 90–92 % gacha, boshqa shlak namunalarida esa 60,2–70,1 % ni tashkil etgan, ruda bilan birga flotatsiya qilish amaliyotida ajratib olish 80–85 % bo‘lgan [8]. Bu farqlar dastlabki mis miqdori va shlak turiga bog‘liq bo‘lishi mumkin.

Flotatsiyadan keyin qolgan temirli qoldiq alohida masala hisoblanadi. Korxona bu qoldiqni sement zavodlariga sotishni boshlagani [13] chiqindisiz sxema tomon muhim qadamdir, chunki metallarni ajratgandan so‘ng hosil bo‘lgan massa yangi chiqindiga aylanmaydi. Shuningdek, 41,7 ming tonnadan ortiq shlak keki yarim tayyor mahsulot sifatida qayta ishlashga yuborilgan [13].

Temirni ajratib olish va sement sanoatida foydalanish

Eski shlaklarda temir oksidlari miqdori 35 % dan oshishi ularni temir manbai sifatida ko‘rish imkonini beradi. Matkarimov va hammualliflar Angren ko‘miri bilan qaytarish bo‘yicha laboratoriya tajribalarida 900–1100 °C past haroratli qaytarishda temir oksidlari uchun 64,5 %, mis oksidlari uchun 40,3 % qaytarilish darajasiga erishgan. Yuqori haroratli qaytarishda esa 84,5–92,9 % temir va 1,4 % gacha mis saqlovchi qotishma hamda qurilish sanoatiga tavsiya etiladigan shlak olingan [10]. Metalllashtirilgan fazani magnit separatsiyasi bilan ajratish ham istiqbolli yo‘nalish sifatida ko‘rsatilgan [8].

Boyitish chiqindilari uchun eng katta hajmli iste’mol yo‘nalishi sement sanoatidir. Qo‘rg‘oshin boyitish fabrikasi flotatsiya chiqindilari tabiiy qo‘shimcha o‘rnida ishlatilishi mumkinligi ishlab chiqarish sharoitidagi sinovlar bilan tekshirilgan [17]. Qo‘rg‘oshin boyitish va mis eritish korxonalari chiqindilari sulfatga chidamli portlandsement uchun faol mineral qo‘shimcha sifatida ham o‘rganilgan bo‘lib, ular gidratatsiya va qotish jarayonlarini tezlashtirgani qayd etilgan [16]. Bunday yo‘nalishda og‘ir metallarning sement toshidan yuvilib chiqish xavfini nazorat qilish muhim shart bo‘lib qoladi.

Qimmatbaho va noyob metallarni ajratib olish

Chiqindilar qiymatini oshirishning yana bir yo‘li platina guruhi metallarini ajratishdir. Vokhidov va hammualliflar palladiy, platina va rodiyni mos ravishda chumoli, limon va nitrat kislotalari bilan tozalash usullarini ishlab chiqib, barcha platinoidlarni ajratib olishning uchdan-uchga ko‘rsatkichi 80 % dan oshganini ma’lum qilgan [18]. Boyitish fabrikasi chiqindilari bo‘yicha esa zarrachalar o‘lchamini aniqlash va intensiv gravitatsion rejimlarni tanlash asosida platinoidlarni markazdan qochma konsentratsiya bilan boyitish taklif etilgan [19].

Oltin saqlovchi chiqindilar uchun gravitatsion boyitish, flotatsiya, gidrometallurgik va biogidrometallurgik usullar hamda sianlash, sorbsiya va elektrokimyoviy texnologiyalar qo‘llanishi mumkin [6]. Mis eritish zavodi shlamlaridan qo‘rg‘oshin olish uchun esa avval rux va misni sulfat kislotada tanlab eritish, keyin qo‘rg‘oshinni tuz eritmasiga o‘tkazib, karbonat holida cho‘ktirish va qaytaruvchi muhitda eritish sxemasi taklif etilgan [1].

Korxonada joriy etilgan yechimning iqtisodiy tahlili

Mis eritish zavodining metallurgiya sexida konverter shlaklari va aylanma materiallarni maydalash bo‘limi ishga tushirilib, ular klinker bilan shixtaga aralashtirilgan va to‘g‘ridan to‘g‘ri Vanyukov pechida

eritilgan [14]. Loyiha uchun atigi 395 ming AQSh dollari sarflangan, chunki boyitish fabrikasini rekonstruksiya qilishda almashtirilgan maydalagichdan foydalanilgan. Ilgari bu chiqindilar 6 km masofadagi 2-mis boyitish fabrikasida qayta ishlanib, oyiga o‘rtacha 587 million so‘m xarajat qilingan; yangi texnologiya yiliga 7,04 milliard so‘m tejash imkonini bergan [14]. Mis bo‘yicha ajratib olish fabrikadagi 60–72 % o‘rniga 93,87 % ni tashkil etgan [14].

2-jadvalda manbada keltirilgan yillik ko‘rsatkichlar, 3-jadvalda esa ular asosida hisoblangan solishtirma ko‘rsatkichlar berilgan.

2-jadval. Texnogen chiqindilarni qayta ishlashning yillik ko‘rsatkichlari [14]

Chiqindi	Hajmi, t	Mis katodi, t	Oltin, kg	Kumush, kg
Mis eritish zavodi chiqindilari	24 000	789	58	442
Rux zavodi klinkeri	96 000	2 028	121,2	29 900
Jami	120 000	2 817	179,2	30 342

3-jadval. 1 tonna chiqindiga to‘g‘ri keladigan mahsulot chiqishi (mualliflar hisobi)

Chiqindi	Mis, %	Oltin, g/t	Kumush, g/t
Mis eritish zavodi chiqindilari	3,29	2,42	18,4
Rux zavodi klinkeri	2,11	1,26	311

Hisob-kitoblar shuni ko‘rsatadiki, klinkerdan olinadigan kumush (311 g/t) va oltin (1,26 g/t) miqdori ilmiy maqolalarda keltirilgan 100–750 g/t kumush va 1–10 g/t oltin oralig‘iga mos keladi [20]. Mis eritish zavodi chiqindilarida solishtirma mis chiqishi 3,29 % bo‘lishi esa konverter shlaklari uchun keltirilgan 2,0–3,5 % oralig‘ining yuqori qismiga to‘g‘ri keladi. Ajratib olish 100 % bo‘lmasligini hisobga olsak, bu chiqindilar tarkibiga boyroq aylanma materiallar ham kirishi mumkin.

Yillik daromad 59,2 million AQSh dollari deb ko‘rsatilgan [14]. Agar bu summa qayta ishlangan 120 ming tonnaga bo‘linsa, bir tonna chiqindidan taxminan 493 dollar daromad to‘g‘ri keladi. 395 ming dollarlik boshlang‘ich xarajat bilan solishtirganda bu ko‘rsatkich juda yuqori, ammo u sof foyda emas, balki yalpi daromad ekanini va eritish, tozalash xarajatlari alohida ekanini hisobga olish kerak.

Kompleks qayta ishlashning bosqichli sxemasi

Tahlil natijalariga asoslanib, chiqindilarni qiymati va hajmiga ko‘ra ajratib qayta ishlaydigan quyidagi sxema taklif etiladi. Sxema mualliflar tavsiyasi bo‘lib, sanoat sharoitida yaxlit holda sinovdan o‘tkazilmagan. Birinchi bosqich – kirish nazorati: har bir chiqindi partiyasining kimyoviy va mineral tarkibi aniqlanadi, chunki klinker va shlak tarkibi keng oraliqda o‘zgaradi [15; 20; 21].

Ikkinchi bosqich – boy oqimlarni pirometallurgik qayta ishlash. Konverter shlaklari va klinker oldindan qaytarilib, Vanyukov yoki aks ettiruvchi pechda eritiladi; bu yo‘nalish eng yuqori ajratib olish ko‘rsatkichlarini bergan [12; 14; 21]. Uchinchi bosqich – kambag‘al shlaklarni flotatsiya bilan boyitish, bunda mineralogik tahlil asosida maydalash darajasi va reagent rejimi tanlanadi [8; 15].

To‘rtinchi bosqich – kichik hajmli qimmatli oqimlardan platinoidlar, qo‘rg‘oshin va boshqa metallarni gidrometallurgik yo‘l bilan ajratish [1; 18; 19]. Beshinchi bosqich – qoldiqlardan foydalanish: temirli massa temir olish yoki sement ishlab chiqarishga, boyitish chiqindilari esa sement qo‘shimchasi sifatida yo‘naltiriladi [10; 13; 16; 17]. Oltinchi bosqich – ekologik monitoring: qayta ishlash

chiqindixonalardan grunt suvlariga ifloslanish o‘tishini kamaytirishi kerak [4; 5], lekin jarayonning o‘zi ham energiya va reagent sarfi bilan bog‘liq bo‘lgani uchun hayot sikli bo‘yicha baholanishi lozim [2].

Cheklovlar va muammolar

Ko‘rib chiqilgan ishlarning aksariyati laboratoriya yoki alohida sanoat sinovlari natijalarini beradi. Chiqindilarning umumiy hajmi bo‘yicha yagona rasmiy ko‘rsatkich ochiq manbalarda topilmadi, turli nashrlardagi baholar esa bir-biridan farq qiladi. Korxona xabarlarida keltirilgan 700 ming tonna shlak bir yillik yoki jamlangan hajm ekani ham aniq ko‘rsatilmagan [13]. Qayta ishlangan shlaklardan og‘ir metallarning yuvilib chiqishi bo‘yicha sanoat ma’lumotlari ham yetarli emas.

XULOSA

“Olmaliq KMK” AJ texnogen chiqindilari tarkibi va qiymati jihatidan turlicha bo‘lgan bir nechta xomashyo oqimidan iborat. Mis eritish shlaklarida 0,77–0,97 % mis va qimmatbaho metallar, konverter shlaklarida 2,0–3,5 % mis, klinkerda esa qaytaruvchi komponentlar bilan birga oltin va kumush mavjud [15; 20; 21]. Shu sababli ularni yagona texnologiya bilan emas, oqimlarga ajratib qayta ishlash maqsadga muvofiq.

Eng samarali yo‘nalish konverter shlakini klinker yordamida oldindan qaytarib, pirometallurgik jarayonga qaytarishdir: ag‘darma shlakda mis miqdori 0,45–0,72 % gacha pasaygan [12; 21], Vanyukov pechida to‘g‘ridan to‘g‘ri eritishda esa mis bo‘yicha 93,87 % ajratib olishga erishilgan [14]. Loyiha natijasida yiliga 120 ming tonna chiqindidan 2 817 tonna mis katodi, 179,2 kg oltin va 30,3 tonna kumush olinishi ko‘zda tutilgan [14].

Kambag‘al shlaklar uchun flotatsiya, temirga boy shlaklar uchun qaytarish, boyitish chiqindilari uchun esa sement sanoatida foydalanish istiqbolli hisoblanadi [8; 10; 16; 17]. Kelgusidagi tadqiqotlar platinoidlarni ajratish usullarini sanoat miqyosiga olib chiqish, chiqindixonalardagi umumiy zaxiralarni aniqlash va taklif etilgan sxemaning iqtisodiy va ekologik samarasini to‘liq hayot sikli asosida baholashga qaratilishi lozim.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Абдурахмонов С., Аманов Ж., Худойкулов Р., Мирзавалиев Д. Исследование и переработка техногенных отходов АО «Алмалыкский ГМК» // Zenodo. – 2022. – DOI: 10.5281/zenodo.6509537 (kirilgan sana: 09.11.2026).
2. Adrianto L.R., Pfister S. Prospective environmental assessment of reprocessing and valorization alternatives for sulfidic copper tailings // Resources, Conservation and Recycling. – 2022. – Vol. 186. – Article 106567. – DOI: 10.1016/j.resconrec.2022.106567 (kirilgan sana: 09.11.2026).
3. Chen M., Sukhomlinov D., Taskinen P.A., Hamuyuni J., Michallik R.M., Lindgren M., Jokilaakso A. Recovery of metals from copper smelting slag using coke and biochar // Journal of Sustainable Metallurgy. – 2024. – Vol. 10, No. 1. – P. 360–374. – DOI: 10.1007/s40831-024-00793-7 (kirilgan sana: 09.11.2026).
4. Isomatov Yu.P., Akhmedov M.K., Ibadlaev S.I. Features of influence of industrial enterprises Almalyk city on the geological environment // The American Journal of Interdisciplinary Innovations and Research. – 2020. – Vol. 2, No. 12. – P. 54–62. – DOI: 10.37547/tajiir/volume02issue12-08 (kirilgan sana: 09.11.2026).

5. Jobborov B.T., Jabbarov Z., Eshonkulov O.D., Kamalova M.J., Juraev H.N., Qilichev Z.T. Changes in the environmental condition of soil and plants under the influence of industrial enterprises (in the case of the Almalyk Mining and Metallurgical Combine) // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 539. – Article 01020. – DOI: 10.1051/e3sconf/202453901020 (kirilgan sana: 09.11.2026).
6. Kamolov U. Oltin tarkibli texnogen chiqindilarni qayta ishlash va ulardan samarali foydalanish // Science and Innovation: Republican Scientific and Practical Conference. – 2026. – B. 4–9. – DOI: 10.70413/si-v04-i34-s40219 (kirilgan sana: 09.11.2026).
7. Kasongo K.B., Mwanat M.H.-M., Guellord N., Kimpiab M., Kapiamba K.F. Statistical investigation of flotation parameters for copper recovery from sulfide flotation tailings // Results in Engineering. – 2021. – Vol. 9. – Article 100207. – DOI: 10.1016/j.rineng.2021.100207 (kirilgan sana: 09.11.2026).
8. Khasanov A.S., Sirozhov T., Utkirova Sh.I., Murtozaeva M.M. Hydrometallurgical and flotation methods of slag depletion // Universum: Technical Sciences. – 2022. – No. 5 (98). – URL: https://7universum.com/en/tech/archive/item/13739 (kirilgan sana: 09.11.2026).
9. Liu J., Xie H., Han B. The utilization of the copper smelting slag: A critical review // Minerals. – 2025. – Vol. 15, No. 9. – Article 926. – DOI: 10.3390/min15090926 (kirilgan sana: 09.11.2026).
10. Matkarimov S.T., Berdiyarov B.T., Mukhametzhanova Sh.A. Understanding the possibility of obtaining iron-bearing alloys from copper slags // Nonferrous Metals (Tsvetnye Metally). – 2023. – No. 9. – P. 31–36. – DOI: 10.17580/tsm.2023.09.03 (kirilgan sana: 09.11.2026).
11. Nikoloski A.N., Singh P., Phiri T. From waste to resource: Critical mineral recovery and environmental impact mitigation in copper smelting slag // Minerals. – 2026. – Vol. 16, No. 2. – Article 206. – DOI: 10.3390/min16020206 (kirilgan sana: 09.11.2026).
12. Ochildiev K., Mukhametdzhanova Sh.A., Matkarimov S.T., Nosirkhudzhaev S.K. Improving the technology of smelting sulfide copper concentrates in JSC Almalyk MMC // Nonferrous Metals (Tsvetnye Metally). – 2025. – No. 12. – P. 28–35. – DOI: 10.17580/tsm.2025.12.04 (kirilgan sana: 09.11.2026).
13. “Green economy” – a factor of development [Elektron resurs] // Almalyk Mining and Metallurgical Complex JSC. – 2025. – 7 February. – URL: https://agmk.uz/en/news/yashil-iqtisodiyot-taraqqiyot-omili (kirilgan sana: 09.11.2026).
14. Kombinatda texnogen chiqindilarni qayta ishlash orqali qo‘shimcha mahsulot olinmoqda [Elektron resurs] // Kun.uz (OKMK Axborot xizmati). – 2022. – 13 may. – URL: https://kun.uz/news/2022/05/13/kombinatda-texnogen-chiqindilarni-qayta-ishlash-orqali-qoshimcha-mahsulot-olinmoqda (kirilgan sana: 09.11.2026).
15. Sayitov S.S., Tsoi V.D., Rasulov Sh.M., Pechersky R.D., Rasulova A.V., Abduvaitov A.K., Asrorov A.A. Material composition of copper slag of the Almalyk copper-smelting plant (Uzbekistan) // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. – 2024. – Vol. 335, No. 4. – P. 148–158. – DOI: 10.18799/24131830/2024/4/4292 (kirilgan sana: 09.11.2026).
16. Sulfate-resistant cements based on technogenic waste from non-ferrous metallurgy // International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics. – 2026. – Issue 23. – DOI: 10.17683/ijomam/issue23.29 (kirilgan sana: 09.11.2026).
17. Usmanov Kh.L., Kadyrova Z.R., Niyazova Sh.M. Physical and mechanical properties of cement with the addition of flotation tailings of lead-zinc production // Цемент и его применение. – 2022. – No. 2. – DOI: 10.61907/cia.2022.27.65.001 (kirilgan sana: 09.11.2026).

18. Vokhidov B., Xasanov A.S., Nemenenok B.M., Mamaraimov G.F. New directions processing of technogenic waste of the copper industry // Litiyo i Metallurgiya. – 2022. – No. 3. – P. 101–107. – DOI: 10.21122/1683-6065-2022-3-101-107 (kirilgan sana: 09.11.2026).
19. Vokhidov B., Hasanov A., Babayev M.Sh., Mamaraimov G.F., Yandashev A.A. New technologies for processing tailings of a copper processing plant for the extraction of platinoids // Acta Innovations. – 2024. – Vol. 52. – P. 51–59. – DOI: 10.62441/actainnovations.52.6 (kirilgan sana: 09.11.2026).
20. Yakubov M.R., Abdukadyrov A.A., Mukhamedzhanova Sh.A., Yokubov O.M. Inclusion of secondary raw materials in the production circuit at Almalyk MMC // Nonferrous Metals (Tsvetnye Metally). – 2022. – No. 5. – P. 36–40. – DOI: 10.17580/tsm.2022.05.04 (kirilgan sana: 09.11.2026).
21. Yakubov M.R., Yoqubov M.M., Kholikulov D.B., Maksudhodjaeva M.S. Depletion of converter slags to waste in the Vanyukov furnace during pyrometallurgical copper production at JSC Almalyk MMC // Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra. – 2024. – Vol. 331, No. 4. – P. 60–68. – DOI: 10.31643/2024/6445.39 (kirilgan sana: 09.11.2026).