

CU-ZN-PB TARKIBLI POLIMETALL KONSENTRATNING RENTGEN-
FAZAVIY VA RENTGEN-FLUORESSENT TAHLILI

Raximov Abbas Akbarali o'g'li - TerDMAU Kimyoviy texnologiya
mutaxassisligi magistranti

Misirov Zafar Xolmuminovich TerDMAU Kimyo muhandisligi kafedrası
mudiri

Annotatsiya: Mazkur maqolada Cu-Zn-Pb tarkibli polimetall konsentratning kimyoviy va fazaviy tarkibi rentgen-fluorescent hamda rentgen-fazaviy tahlil usullari asosida o'rganildi. Tadqiqotda XRF natijalari namunaning asosiy oksid komponentlari SO_3 , ZnO , Fe_2O_3 , PbO va CuO bilan ifodalanishini ko'rsatdi. XRD tahlilida esa $CuCl$, FeN , Cu_2FeS_4Sn , Ca-Zr-Ti oksidli faza va Pb_2O_3 kabi fazalar dastlabki Search-Match natijasi sifatida qayd etildi. Shu bilan birga, difraktogrammada amorf fonning yuqoriligi va kristallik darajasining pastligi fazaviy tarkibni yakuniy baholashda ehtiyotkorlikni talab qiladi. Tadqiqot natijalari polimetall konsentratlarni kompleks qayta ishlash, qimmatli metallarni ajratib olish va texnologik jarayonlarni optimallashtirishda XRF hamda XRD usullarini birgalikda qo'llash muhimligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: polimetall konsentrat, Cu-Zn-Pb, XRF, XRD, rentgen-fazaviy tahlil, rentgen-fluorescent tahlil, rux oksidi, qo'rg'oshin oksidi, mis birikmalari, amorf faza.

Аннотация: В статье исследован химический и фазовый состав Cu-Zn-Pb-содержащего полиметаллического концентрата методами рентгенофлуоресцентного и рентгенофазового анализа. Результаты XRF-анализа показали, что основными оксидными компонентами образца являются SO_3 , ZnO , Fe_2O_3 , PbO и CuO . По данным XRD-анализа в качестве предварительных фазовых совпадений были определены $CuCl$, FeN , Cu_2FeS_4Sn , Ca-Zr-Ti-содержащая оксидная фаза и Pb_2O_3 . Вместе с тем высокая доля аморфной составляющей и низкая степень кристалличности требуют осторожного подхода к интерпретации фазового состава. Полученные результаты показывают значимость совместного применения XRF и XRD методов при исследовании полиметаллических концентратов, выборе технологических режимов переработки и оценке возможности извлечения ценных металлов.

Ключевые слова: полиметаллический концентрат, Cu-Zn-Pb, XRF, XRD, рентгенофазовый анализ, рентгенофлуоресцентный анализ, оксид цинка, оксид свинца, соединения меди, аморфная фаза.

Abstract: This article presents the chemical and phase characterization of a Cu-Zn-Pb-bearing polymetallic concentrate using X-ray fluorescence and X-ray diffraction methods. XRF results indicate that the main oxide components of the sample are SO_3 , ZnO , Fe_2O_3 , PbO and CuO . XRD analysis identified CuCl , FeN , $\text{Cu}_2\text{FeS}_4\text{Sn}$, a Ca-Zr-Ti oxide phase and Pb_2O_3 as preliminary Search-Match phase candidates. However, the high amorphous background and low degree of crystallinity require a cautious interpretation of the phase composition. The results demonstrate the importance of combining XRF and XRD methods in the study of polymetallic concentrates, especially for evaluating valuable metal-bearing components and optimizing further processing technologies.

Keywords: polymetallic concentrate, Cu-Zn-Pb, XRF, XRD, X-ray phase analysis, X-ray fluorescence analysis, zinc oxide, lead oxide, copper compounds, amorphous phase.

KIRISH

Polimetall rudalar va ulardan olinadigan konsentratlar rangli metallurgiya sanoatining muhim xomashyo bazasini tashkil etadi. Ayniqsa mis, rux va qo'rg'oshin tarkibli konsentratlar sanoat ahamiyatiga ega bo'lib, ular tarkibidan qimmatli metallarni ajratib olish, texnologik boyitish jarayonlarini takomillashtirish hamda qayta ishlash samaradorligini oshirish zamonaviy kimyoviy texnologiyaning dolzarb masalalaridan biridir. Cu-Zn-Pb tarkibli polimetall konsentratlarning tarkibi murakkab bo'lib, ularda sulfidlashgan, oksidlangan, sulfatlashgan, karbonatlashgan yoki amorf holatdagi komponentlar birgalikda uchrashi mumkin. Bunday xomashyolarni qayta ishlashdan oldin ularning kimyoviy va fazaviy tarkibini aniq baholash zarur.

Polimetall konsentratlarni o'rganishda faqat umumiy kimyoviy tahlil bilan cheklanish yetarli emas. Chunki elementlarning umumiy miqdori ularning qanday mineral yoki fazaviy shaklda mavjudligini to'liq ochib bermaydi. Masalan, ruxning ZnO , ZnS yoki sulfat shaklida bo'lishi, qo'rg'oshinning PbO , PbS , PbSO_4 yoki murakkab oksidli fazalarda uchrashi, misning esa oksid, xlorid, sulfid yoki murakkab mis-temir birikmalari holda mavjudligi texnologik qayta ishlash usulini tanlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Shu sababli XRF - rentgen-fluorescent tahlil va XRD - rentgen-fazaviy tahlil usullarini birgalikda qo'llash polimetall konsentratlarni chuqur baholash imkonini beradi.

XRF usuli namunaning element yoki oksid tarkibini aniqlashda qulay bo'lib, u asosiy va iz miqdordagi komponentlarni nisbatan tezkor baholash imkonini beradi. XRD usuli esa kristall fazalarni aniqlash, ularning taxminiy miqdorini baholash va mineralogik tarkibni tushuntirishda qo'llaniladi. Biroq polimetall konsentratlarda amorf fonning yuqoriligi, kristallik darajasining pastligi, fazalarning bir-biri bilan difraksion chiziqlari ustma-ust tushishi va bazaviy Search-Match algoritmlarining cheklanganligi ayrim hollarda XRD natijalarini talqin qilishni murakkablashtiradi. Shu jihatdan XRF va XRD natijalarini solishtirma tahlil qilish, ularning o'zaro mos va farqli tomonlarini aniqlash ilmiy hamda amaliy ahamiyatga ega.

Mazkur tadqiqotning maqsadi Cu-Zn-Pb tarkibli polimetall konsentratning kimyoviy va fazaviy tarkibini XRF hamda XRD natijalari asosida baholash, aniqlangan komponentlarning texnologik ahamiyatini izohlash va tahlil natijalarining ishonchlilik darajasini ilmiy asosda ko'rsatib berishdan iborat.

Tadqiqot materiali va metodlari

Tadqiqot obyekti sifatida Cu-Zn-Pb tarkibli polimetall konsentrat namunasi olindi. Namunaning kimyoviy tarkibi rentgen-fluorescent tahlil usuli orqali, fazaviy tarkibi esa rentgen-fazaviy tahlil usuli yordamida o'rganildi. XRF tahlilida Rigaku NEX CG qurilmasi natijalari asos qilib olindi. Hisobotda namuna **A-1** sifatida qayd etilgan bo'lib, tahlil FP method, Scatter rejimida bajarilgan. Mazkur tahlilda komponentlar oksidlar ko'rinishida, massa foizlarda berilgan.

Rentgen-fazaviy tahlil Match! dasturi yordamida bajarilgan. XRD hisobotida namuna (**TER**) sifatida ko'rsatilgan, boshlang'ich fayl nomi **ABBOS-5559.RAW** bo'lib, o'lchash oralig'i 5.000°-80.000° 2θ diapazonini tashkil etgan. Tahlilda Cu-Kα nurlanishi, ya'ni λ = 1.540600 Å qiymati qo'llangan. Hisobotda Rietveld refinement converged - **No**, Alpha2 subtracted - **No**, Background subtr. - **No**, Data smoothed - **No** deb qayd etilgan. Bu holat XRD natijalari dastlabki Search-Match xarakterga ega ekanini ko'rsatadi.

Natijalar

XRF tahlili natijalariga ko'ra, A-1 namunasi tarkibida eng yuqori miqdor **SO₃ - 59.0%** ga to'g'ri keladi. Bu namunaning sulfatli yoki oltingugurtli komponentlarga boyligini ko'rsatadi. Ikkinchi asosiy komponent **ZnO - 20.6%** bo'lib, bu konsentratda ruxli birikmalarning muhim o'rin tutishini tasdiqlaydi. Bundan tashqari, **SiO₂ - 4.64%**, **Fe₂O₃ - 4.08%**, **PbO - 3.86%**, **Al₂O₃ - 3.03%**, **CuO - 2.73%** miqdorda aniqlangan.

1-jadval

A-1 namunasining asosiy oksid tarkibi

№	Komponent	Miqdori, mass.%	Izoh
----------	------------------	----------------------------	-------------

1	SO ₃	59.0	Asosiy sulfat/oltingugurtli komponent
2	ZnO	20.6	Ruxli komponent
3	SiO ₂	4.64	Silikat yoki gang minerallar qismi
4	Fe ₂ O ₃	4.08	Temirli komponent
5	PbO	3.86	Qo'rg'oshinli komponent
6	Al ₂ O ₃	3.03	Alumosilikatli qism
7	CuO	2.73	Misli komponent
8	MgO	0.701	Kam miqdordagi qo'shimcha komponent
9	CaO	0.575	Karbonat/silikat yoki boshqa birikmalar tarkibi

XRF natijalari shuni ko'rsatadiki, namuna tarkibida rux miqdori mis va qo'rg'oshinga nisbatan yuqoriroq. Bunday tarkib texnologik qayta ishlashda ruxli fazalarni alohida e'tiborga olish zarurligini bildiradi. PbO va CuO miqdorlarining mavjudligi esa konsentratning polimetall xarakterini tasdiqlaydi.

XRD tahlili natijalariga ko'ra, Match! dasturi tomonidan quyidagi fazalar aniqlangan: **Nantokite - CuCl, 24.1%**, **FeN - 21.4%**, **Cu₂Fe(SnS₄) - 19.2%**, **Calzirtite - CaO₈TiZr_{2.5}, 18.3%**, **Pb₂O₃ - 17.0%**. Hisobotda 3.0% aniqlanmagan peak area ham qayd etilgan.

2-jadval

XRD Search-Match natijalari bo'yicha aniqlangan fazalar

№	Faza nomi	Formula	Miqdori, %	Baholash
1	Nantokite	CuCl	24.1	Dastlabki moslik
2	Fe N	FeN	21.4	Ehtiyotkor talqin talab qiladi
3	Cu ₂ Fe(SnS ₄)	Cu ₂ FeS ₄ Sn	19.2	Murakkab sulfidli faza sifatida ko'rsatilgan
4	Calzirtite	CaO ₈ TiZr _{2.5}	18.3	Ca-Zr-Ti oksidli faza
5	Pb ₂ O ₃	Pb ₂ O ₃	17.0	Qo'rg'oshin oksidli faza
6	Aniqlanmagan peak area	-	3.0	Qo'shimcha tekshiruv talab qiladi

XRD hisoboti bo'yicha elementar tarkib RIR hisoblash usuli asosida Cu - 21.1%, Fe - 19.6%, Pb - 15.3%, Zr - 9.4%, Cl - 8.6%, O - 7.0%, S - 5.7%, Sn - 5.3%, N - 4.3%, Ti - 2.0%, Ca - 1.7% miqdorida berilgan. Biroq bu qiymatlar XRF natijalari bilan to'liq mos kelmaydi. Ayniqsa XRD natijasida Zr va Cl miqdorining nisbatan yuqori ko'rinishi, XRF natijasida esa ZrO₂ miqdorining juda past - 0.0571% atrofida qayd etilishi fazaviy moslashtirish natijalarini qayta tekshirish zarurligini ko'rsatadi.

Muhokama

Olingan natijalar Cu-Zn-Pb tarkibli polimetall konsentratning tarkibi murakkab ekanini ko'rsatadi. XRF natijalarida SO_3 va ZnO miqdorining yuqori bo'lishi namuna tarkibida sulfatlashgan yoki oltingugurtli birikmalar bilan birga ruxli komponentlar ustunligini bildiradi. Bu holat texnologik nuqtayi nazardan muhim, chunki ruxli konsentratlarni qayta ishlashda fazaning oksid, sulfid yoki sulfat shaklda bo'lishi tanlanadigan eritish, kuydirish, tanlab eritish yoki flotatsiya rejimlariga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

XRD natijalarida CuCl, FeN, Cu_2FeS_4Sn , Ca-Zr-Ti oksidli faza va Pb_2O_3 kabi fazalarning aniqlanishi namunaning kristall qismi bo'yicha dastlabki tasavvur beradi. Lekin ushbu natijalarni yakuniy mineralogik tarkib sifatida qabul qilish metodik jihatdan to'g'ri bo'lmaydi. Chunki XRD hisoboti bo'yicha kristallik darajasi atigi **7.11%**, amorf qism esa **92.89%** ni tashkil etadi. Bu esa difraksion cho'qqilarning umumiy signalga nisbatan juda kichik ulush egallaganini bildiradi. Bunday sharoitda Match! dasturining Search-Match natijalari ayrim fazalarni noto'g'ri tanlashi yoki kam cho'qqilar asosida moslashtirishi mumkin.

Fazalar bo'yicha mos tushgan piklar soni ham ehtiyotkorlikni talab qiladi. Masalan, Nantokite fazasi uchun 17 ta pikdan 3 tasi, FeN fazasi uchun 10 ta pikdan 3 tasi, Cu_2FeS_4Sn fazasi uchun esa 42 ta pikdan 4 tasi mos tushgan. Bu fazalarni tasdiqlangan mineralogik tarkib sifatida emas, balki dastlabki ehtimoliy fazalar sifatida ko'rsatish maqsadga muvofiq.

XRF va XRD natijalarini solishtirish shuni ko'rsatadiki, XRF usuli namunaning umumiy kimyoviy tarkibini ishonchliroq ko'rsatadi, XRD esa faqat kristall fazalar mavjud bo'lganda samarali natija beradi. Mazkur namuna holatida amorf qismning juda yuqori ekanligi sababli XRD ma'lumotlari cheklangan axborot beradi. Shu sababli maqola doirasida XRF natijalari asosiy kimyoviy tahlil sifatida, XRD natijalari esa dastlabki fazaviy taxmin sifatida talqin qilindi.

XRD tahlilida ruxli fazaning aniq ko'rinmasligi ham muhim ilmiy holatdir. XRF natijasida ZnO 20.6% miqdorda aniqlangan bo'lsa-da, XRD Search-Match natijalarida ruxga boy asosiy kristall faza ajratib ko'rsatilmagan. Bu ruxning amorf yoki yomon kristallangan holatda, sulfatlangan shaklda yoki difraksion cho'qqilari boshqa fazalar bilan ustma-ust tushgan holatda mavjud bo'lishi mumkinligini bildiradi. Shuningdek, Search-Match jarayonida fazalar bazasini texnologik jihatdan ehtimoliy birikmalar - ZnO, ZnS, $ZnSO_4$, PbO, PbS, $PbSO_4$, CuO, Cu_2O , CuS, $CuFeS_2$, FeS_2 , $CaSO_4$ kabi fazalar bilan qayta tekshirish zarur.

Texnologik ahamiyati

Cu-Zn-Pb tarkibli polimetall konsentratning kimyoviy va fazaviy tarkibini aniqlash uning keyingi qayta ishlash bosqichlarini tanlashda muhim ahamiyatga ega.

Agar namuna tarkibida sulfatli komponentlar ustun bo'lsa, gidrometallurgik qayta ishlash imkoniyatlari, ya'ni tanlab eritish, eritma tarkibini boshqarish, pH muhitini optimallashtirish va qimmatli metallarni selektiv ajratib olish jarayonlari muhim bo'ladi. Ruxli komponentlarning yuqori ulushi esa Zn ajratib olishga yo'naltirilgan texnologik sxemalarni ishlab chiqish zarurligini ko'rsatadi.

Qo'rg'oshin va mis komponentlarining mavjudligi esa konsentratni faqat bitta metall manbai sifatida emas, balki kompleks polimetall xomashyo sifatida ko'rib chiqishni talab qiladi. Bunday konsentratlarni qayta ishlashda asosiy maqsad faqat ruxni emas, balki mis va qo'rg'oshin komponentlarini ham iqtisodiy jihatdan maqbul shaklda ajratib olishdan iborat bo'lishi kerak.

Xulosa

O'tkazilgan rentgen-fluorescent va rentgen-fazaviy tahlillar Cu-Zn-Pb tarkibli polimetall konsentratning murakkab kimyoviy-fazaviy tuzilishga ega ekanini ko'rsatdi. XRF natijalariga ko'ra, namuna tarkibida asosiy komponentlar sifatida SO_3 - 59.0%, ZnO - 20.6%, SiO_2 - 4.64%, Fe_2O_3 - 4.08%, PbO - 3.86%, Al_2O_3 - 3.03% va CuO - 2.73% aniqlangan. Bu natija konsentratning oltingugurtli yoki sulfatli komponentlarga boy, shuningdek rux, qo'rg'oshin va mis saqlovchi polimetall xomashyo ekanini tasdiqlaydi.

XRD tahlilida CuCl, FeN, Cu_2FeS_4Sn , Ca-Zr-Ti oksidli faza va Pb_2O_3 kabi fazalar aniqlangan bo'lsa-da, kristallik darajasining 7.11% bilan cheklanishi va amorf qismning 92.89% ga yetishi fazaviy tarkibni yakuniy baholash imkoniyatini cheklaydi. Shu sababli XRD natijalari dastlabki Search-Match ma'lumoti sifatida talqin qilinishi, yakuniy mineralogik xulosa chiqarish uchun esa qayta ishlangan XRD tahlili, fonni ajratish, Rietveld refinement va ehtimoliy fazalar bazasini kengaytirish talab etiladi.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, polimetall konsentratlarni baholashda XRF va XRD usullarini alohida emas, balki o'zaro solishtirma holda qo'llash zarur. XRF umumiy kimyoviy tarkibni aniqlashda, XRD esa kristall fazalarni baholashda muhim axborot beradi. Amorf faza ulushi yuqori bo'lgan namunalarda esa XRD natijalarini ehtiyotkorlik bilan talqin qilish, ularni XRF natijalari bilan solishtirish va zarur hollarda qo'shimcha tahlil usullaridan foydalanish ilmiy jihatdan asosli yondashuv hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Cullity B.D., Stock S.R. Elements of X-Ray Diffraction. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001.
2. Jenkins R. X-Ray Fluorescence Spectrometry. 2nd ed. New York: Wiley-Interscience, 1999.

3. Bish D.L., Post J.E. Modern Powder Diffraction. Washington: Mineralogical Society of America, 1989.
4. Rietveld H.M. A profile refinement method for nuclear and magnetic structures // Journal of Applied Crystallography. 1969. Vol. 2. P. 65-71.
5. Jenkins R., Snyder R.L. Introduction to X-Ray Powder Diffractometry. New York: Wiley, 1996.
6. Potts P.J. A Handbook of Silicate Rock Analysis. London: Blackie Academic & Professional, 1987.
7. Grieken R. van, Markowicz A. Handbook of X-Ray Spectrometry. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 2002.
8. Misirov Z.X., Raximov A.A. Cu-Zn-Pb tarkibli polimetall konsentratning rentgen-fazaviy va rentgen-fluouressent tahlili bo'yicha laboratoriya natijalari. TerDMAU, 2025.