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

ANGREN IES KUL-SHLAK CHIQINDILARINING FAZAVIY-KIMYOVIY TARKIBI VA KAMYOB YER ELEMENTLARINI AJRATIB OLISHNING TEXNOLOGIK ASOSLARI

Xoshimxanova Muxayyo Abralovna
Olmaliq davlat texnika instituti, t.f.d., dotsent
Irsaliyeva Dilnoza Baxtiyor qizi
Toshkent davlat texnika universiteti tayanch doktoranti

Annotatsiya. Ushbu maqolada Angren IES kul-shlak chiqindilarining tarkibi XRD va XRF tahlillari orqali o‘rganilib, ulardan kamyob yer elementlarini (REE) ajratib olish imkoniyatlari baholandi. Tadqiqot natijalari namuna tarkibida kremniy va alyuminiy oksidlari yuqori ekanligini hamda Zr, Ba, Eu kabi qimmatli komponentlar mavjudligini ko‘rsatdi. REE elementlarining zich mineral matritsa bilan bog‘langanligi aniqlanib, ularni samarali ajratish uchun ishqoriy aktivatsiya va kislotali yuvishga asoslangan texnologik bosqichlar taklif etildi. Mazkur yondashuv texnogen chiqindilardan kompleks foydalanish imkonini beradi.

Kalit so‘zlar: Angren IES, kul-shlak, XRD, XRF, kamyob yer elementlari, yevropiy, ittriy, aluminosilikat matritsa, ishqoriy aktivatsiya, kislotali yuvish.

Аннотация. В данной статье изучен состав золошлаковых отходов Ангренской ТЭС с помощью методов XRD и XRF анализа, а также оценены возможности извлечения из них редкоземельных элементов (РЗЭ). Результаты исследования показали высокое содержание оксидов кремния и алюминия, а также наличие таких ценных компонентов, как Zr, Ba, Eu. Установлено, что элементы РЗЭ связаны с плотной минеральной матрицей, в связи с чем предложена технологическая последовательность, основанная на щелочной активации и кислотном выщелачивании. Данный подход позволяет комплексно использовать техногенные отходы.

Ключевые слова: Ангренская ТЭС, золошлаки, XRD, XRF, редкоземельные элементы, европий, иттрий, алюмосиликатная матрица, щелочная активация, кислотное выщелачивание.

Abstract. This article investigates the composition of ash and slag wastes from the Angren Thermal Power Plant (TPP) using XRD and XRF analyses and evaluates the potential for extracting rare earth elements (REEs) from them. Research results indicated high concentrations of silicon and aluminum oxides, alongside valuable components such as Zr, Ba, and Eu. It was determined that REEs are bound within a dense mineral matrix; therefore, a technological approach based on alkaline activation followed by acid leaching was proposed for their effective separation. This method enables the complex utilization of technogenic waste.

ISSN 3030-3907

Keywords: Angren TPP, fly ash and slag, XRD, XRF, rare earth elements, europium, yttrium, aluminosilicate matrix, alkaline activation, acid leaching.

KIRISH.

Ko‘mir yoqiladigan issiqlik elektr stansiyalarida hosil bo‘ladigan kul-shlak chiqindilari katta hajmda to‘planishi, yer maydonlarini band qilishi, changlanish, yer osti suvlari va tuproq qatlamlariga ta’sir ko‘rsatishi sababli muhim ekologik muammo hisoblanadi. Biroq bunday chiqindilarni faqat utilizatsiya qilinishi lozim bo‘lgan inert qoldiq sifatida baholash bir tomonlama yondashuvdir. Zamonaviy resurs tejash konsepsiyasida kul-shlaklar ikkilamchi mineral xomashyo, ayrim hollarda esa qimmatli va kamyob elementlar saqlovchi texnogen kon sifatida qaralmoqda.

Adabiyotlarda ko‘mirning mineral qismi yonish jarayonida konsentrlanishi natijasida kul va shlak tarkibida SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO kabi asosiy oksidlar bilan bir qatorda Ti, Zr, V, Ga, Sr, Ba, Y hamda lantanidlar kabi mikrokomponentlar ham to‘planishi ko‘rsatilgan. Bunday xomashyolarni qayta ishlash ikki yo‘nalishda ahamiyat kasb etadi: birinchidan, chiqindi omborlarining ekologik yuklamasi kamayadi; ikkinchidan, sanoat uchun zarur bo‘lgan qimmatli elementlar mahalliy ikkilamchi manbalar hisobidan olinishi mumkin.

Kamyob yer elementlari yuqori texnologiyali materiallar, katalizatorlar, optik-elektron qurilmalar, magnit materiallar, energiya saqlash tizimlari va maxsus qotishmalar ishlab chiqarishda muhim komponent hisoblanadi. Jahon amaliyotida REE ajratib olish uchun ko‘mir kuli, boksit qoldiqlari, fosfogips, metallurgiya shlaklari va boshqa texnogen chiqindilar bo‘yicha ko‘plab tadqiqotlar olib borilmoqda. Ammo bunday xomashyoni qayta ishlashda asosiy cheklov shundan iboratki, REE ko‘pincha mustaqil mineral donachalar holida emas, balki aluminosilikat shisha fazasi, kvarts, mullit yoki temir-kalsiyli fazalar bilan bog‘langan holda uchraydi.

Shuning uchun kul-shlak tarkibidan qimmatli elementlarni ajratish texnologiyasini tanlashda faqat element miqdorini bilish yetarli emas. Xomashyoning fazaviy tuzilishi, asosiy mineral matritsaning barqarorligi, mikroelementlarning ehtimoliy bog‘lanish shakli va eritmaga o‘tish mexanizmlarini birgalikda tahlil qilish zarur. Agar material kvarts va aluminosilikat fazalar bilan boy bo‘lsa, to‘g‘ridan-to‘g‘ri kislotali yuvish ko‘pincha yetarli samara bermaydi. Chunki kislota REE ni ajratishdan oldin zich silikat panjarasini ochishi, diffuziya to‘siqlarini yengishi va asosiy matritsa bilan reaksiyaga kirishishi kerak bo‘ladi.

Ushbu ishning maqsadi Angren IES kul-shlak chiqindilarining XRD va XRF natijalari asosida fazaviy-kimyoviy xususiyatlarini ilmiy tahlil qilish, undagi qimmatli hamda kamyob yer elementlarining texnologik ahamiyatini baholash va

ISSN 3030-3907

keyingi tajribalar uchun asoslangan ajratib olish sxemasini taklif etishdan iborat. Ishning asosiy urg‘usi oddiy tavsiflashga emas, balki olingan analiz natijalari bilan texnologik qaror o‘rtasidagi bog‘liqlikni ochib berishga qaratilgan.

TADQIQOT OBYEKTI VA USULLARI.

Tadqiqot obyekti sifatida Angren IESdan olingan kul-shlak chiqindisi namunasi tanlandi. Namuna dastlab quritilgan, yirik mexanik aralashmalardan ajratilgan va tahlil uchun bir jinsli holatga keltirilgan deb qabul qilindi. Kul-shlak tarkibidagi asosiy va mikroelementlar miqdori XRF usuli bilan, kristall fazalar esa XRD usuli yordamida baholandi.

XRD o‘lchovlari Cu nurlanishi sharoitida, 40 kV kuchlanish va 50 mA tokda, 10–100° 2θ diapazonda, θ/2θ skanlash rejimida bajarilgan. Hisobotlarda piklarni aniqlash ikkinchi hosila usuli asosida amalga oshirilgan; pik shakllari matematik profil modeli bilan moslashtirilgan. Bunday yondashuv asosiy kristall fazalarni aniqlash uchun yetarli bo‘lsa-da, mikrokomponentlarning aniq mineral shaklini bevosita ko‘rsatib bermaydi. Shu sababli REE bog‘lanish shakli bo‘yicha xulosalar XRD va XRF ma’lumotlarining birgalikdagi talqini sifatida berildi.

XRF tahlili NEX CG rentgen-fluoresans spektrometrida fundamental parametrlar usuli asosida bajarilgan. Natijalar element miqdori ko‘rinishida massa foizda ifodalandi. Asosiy elementlar oksid ekvivalentiga stexiometrik qayta hisoblandi. Bu hisob mineral-kimyoviy talqin uchun qulay, biroq yakuniy oksid balansini to‘liq tasdiqlash uchun alohida oksid tarkibi bo‘yicha standartlashtirilgan XRF yoki ICP-OES/ICP-MS tahlillari bilan tekshirish tavsiya etiladi.

NATIJALAR VA ULARNING ILMIY TAHLILI.

XRF tahlili Angren IES kul-shlak namunasi tarkibida kremniy va alyuminiy miqdori ustun ekanligini ko‘rsatdi. Bu holat materialning asosiy qismini kvarts, silikat va aluminosilikat fazalar tashkil etishini bildiradi. Kalsiy va temir miqdorining nisbatan yuqoriligi esa kalsiyli silikatlar, temir oksidlari yoki Fe-Al-Si tipidagi aralash fazalar mavjud bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatadi. Bunday tarkib kul-shlakni oddiy mexanik chiqindi emas, balki mineral fazalari murakkab bo‘lgan texnogen xomashyo sifatida baholashga asos beradi.

1-jadval

XRF tahlili bo‘yicha asosiy elementlar va ularning oksid ekvivalentlari

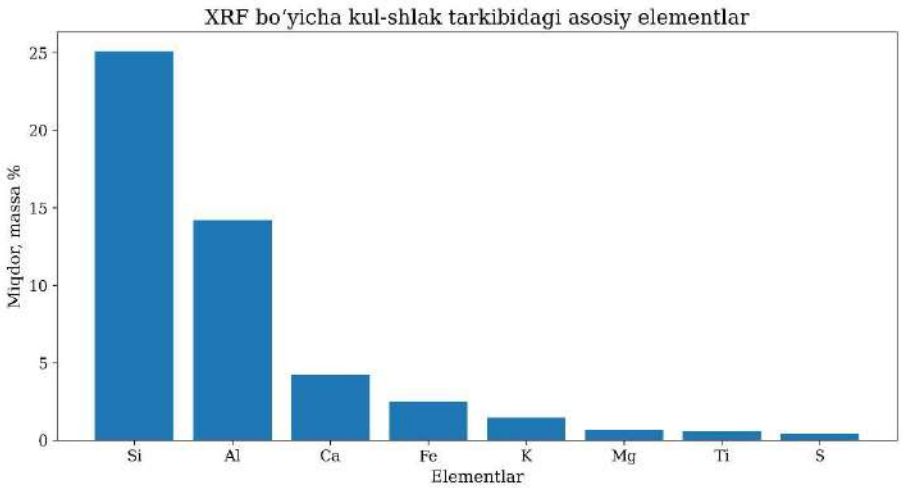
Element	Miqdor, massa %	Ehtimoliy oksid shakli	Oksid ekvivalenti, %	Ilmiy talqin

ISSN 3030-3907

Si	25.1	SiO_2	53.7	Kvarts va silikat fazalarining asosiy komponenti
Al	14.2	Al_2O_3	26.83	Mullit/aluminosilikat asos komponenti
Ca	4.22	CaO	5.9	Kalsiy saqlovchi mineral fazalar ehtimoli
Fe	2.5	Fe_2O_3	3.57	Temirli oksid yoki Fe-Al-Si fazalar ehtimoli
K	1.46	K_2O	1.76	Ishqoriy komponent, shisha faza bilan bog‘lanishi mumkin
Mg	0.62	MgO	1.03	Magniyli qo‘shimcha mineral fazalar
Ti	0.573	TiO_2	0.96	Titanli mineral qo‘shimchalar
S	0.422	SO_3	1.05	Sulfat/sulfid qoldiq komponentlari ehtimoli

1-jadvaldagi ma’lumotlar bo‘yicha Si va Al jami 39 % dan ortiq ulushni tashkil etadi. Oksid ekvivalentida esa SiO_2 va Al_2O_3 yig‘indisi 80 % ga yaqinlashadi. Bu natija kul-shlakning asosiy karkasi silikat-aluminosilikat tabiatga ega ekanini bildiradi. Amaliy jihatdan bunday matritsa ikki tomonlama ahamiyatga ega: u qurilish materiallari uchun faol mineral qo‘shimcha sifatida qiziqish uyg‘otishi mumkin, ammo REE ajratib olishda aynan shu barqaror panjara texnologik to‘siq vazifasini bajaradi.

ISSN 3030-3907



1-rasm. XRF natijalari asosida asosiy elementlar miqdorining taqqoslanishi

XRF tahlili natijalarida qimmatli mikrokomponentlar ham qayd etildi. Ayniqsa Zr, Ba, Sr va Eu miqdorlarining nisbatan yuqoriligi kul-shlakni kompleks qayta ishlash nuqtayi nazaridan qiziqarli obyektga aylantiradi. Bu yerda muhim jihat shundaki, mikroelementlar miqdori sanoat miqyosida darhol iqtisodiy samaradorlikni kafolatlamaydi; ularning ajraluvchanligi, fazaviy bog‘lanishi, ekstraksiya darajasi va keyingi konsentrlash xarajatlari alohida tajribalar orqali aniqlanishi kerak.

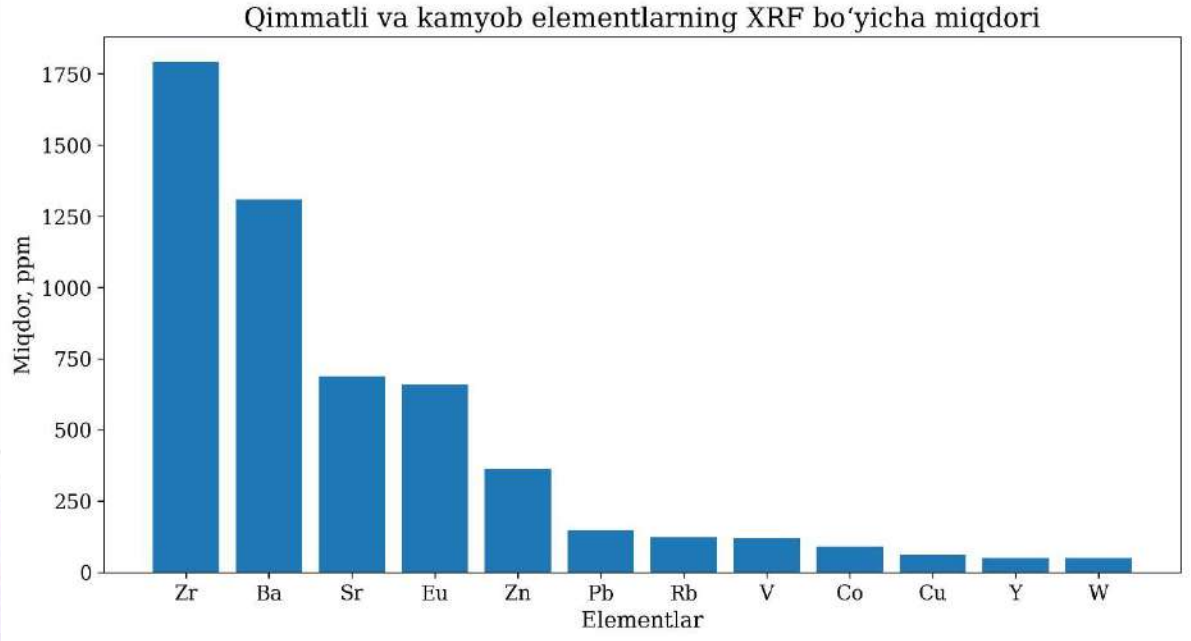
2-jadval

XRF bo‘yicha aniqlangan qimmatbaho va kamyob elementlar

Element	Miqdor, massa %	Miqdor, ppm	Texnologik ahamiyati
Zr	0.1790	1790	Qimmatbaho texnologik element
Ba	0.1310	1310	Ba saqlovchi mineral fazalar ehtimoli
Sr	0.0688	688	Kalsiyli fazalar bilan izomorf bog‘lanishi mumkin
Eu	0.0658	658	Kamyob yer elementi, asosiy ilmiy qiziqish
Zn	0.0363	363	Rangli metall va ekologik indikator

ISSN 3030-3907

Pb	0.0148	148	Og‘ir metall, ekologik nazorat uchun muhim
Rb	0.0124	124	Ishqoriy mikroelement
V	0.0120	120	Metallurgiya va katalizda ahamiyatli element
Co	0.0090	90	Qimmatbaho rangli metall
Cu	0.0061	61	Rangli metall, kompleks qayta ishlash ko‘rsatkichi
Y	0.0051	51	Kamyob yer elementi, REE guruhiga yaqin texnologik komponent
W	0.0051	51	Qimmatbaho va kam uchraydigan element



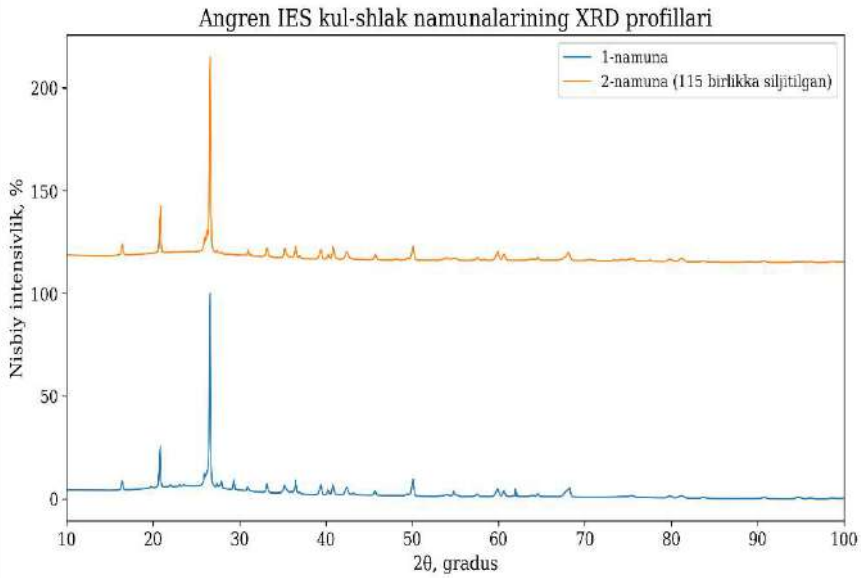
2-rasm. Qimmatli va kamyob elementlarning ppm birlikdagi miqdori

Yevropiy miqdorining 658 ppm bo‘lishi alohida e’tiborga molik. Biroq bu raqamni noto‘g‘ri talqin qilmaslik kerak: XRF element mavjudligini va taxminiy

ISSN 3030-3907

miqdorini ko‘rsatadi, lekin uning qaysi fazada joylashganini bevosita isbotlamaydi. Shuning uchun Eu va Y ning ajratib olinishi mumkinligi haqidagi xulosa XRD bilan birgalikda tahlil qilinganda kuchayadi. Agar asosiy faza kvarts-aluminosilikat tabiatli bo‘lsa, REE ning sezilarli qismi shisha faza yoki aluminosilikat panjara bilan bog‘langan bo‘lishi ehtimoli yuqori. Bunday holatda reagent tanlashda matritsani ochish bosqichi hal qiluvchi ahamiyatga ega bo‘ladi.

XRD tahlili ikkita baholash hisobotiga asoslandi. Har ikkala namunada ham eng intensiv pik 2θ≈26,6° da kuzatildi, bu kvarts fazasiga mos keladi. 20–40° oralig‘idagi qo‘shimcha piklar silikat va aluminosilikat fazalar, xususan mullitga yaqin strukturalar mavjudligini ko‘rsatadi. 50° va undan yuqori burchaklardagi piklar kvartsning yuqori tartibli akslanishlari hamda qo‘shimcha oksid-silikat fazalar bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin.



3-rasm. 1- va 2-namunalarning XRD profillari; asosiy intensiv piklar 2θ≈26,6° da joylashgan

3-jadval.

XRD piklarining asosiy ko‘rsatkichlari

Namuna	2θ, gradus	d, Å	Nisbiy intensivlik, %	Ehtimoliy faza/talqin
1-namuna	26.594	3.349	100.00	Kvarts (SiO_2), asosiy kristall faza
1-namuna	20.811	4.265	23.32	Kvarts/aluminosilikat fazalar
1-namuna	26.400	3.374	33.20	Kvartsga yaqin qo‘shimcha pik

ISSN 3030-3907

1-namuna	35.180	2.549	15.21	Mullit yoki Fe-Al-Si fazalar ehtimoli
1-namuna	50.095	1.819	16.37	Kvartsning yuqori tartibli piki
2-namuna	26.598	3.349	100.00	Kvarts (SiO_2), asosiy kristall faza
2-namuna	20.828	4.261	20.49	Kvarts/aluminosilikat fazalar
2-namuna	35.194	2.548	9.59	Mullit yoki Fe-Al-Si fazalar ehtimoli
2-namuna	50.097	1.819	12.15	Kvartsning yuqori tartibli piki
2-namuna	68.059	1.376	15.40	Yuqori burchakdagi silikat/oksid fazalar

XRD natijalarida REE ga tegishli mustaqil kristall fazalar ko‘rinmaydi. Bu tabiiy holat, chunki Eu va Y kabi elementlar past konsentratsiyada bo‘lganida rentgen-difraksion usul ularni alohida faza sifatida aniqlamasligi mumkin. Shuning uchun mazkur ishda REE ning aluminosilikat asos bilan bog‘langanligi qat’iy mineralogik dalil sifatida emas, balki XRF tarkibi va XRD fazaviy ko‘rinishiga asoslangan ilmiy ehtimol sifatida talqin qilindi. Aynan shu ehtiyotkorlik maqolaning ilmiy ishonchliligini oshiradi.

MUHOKAMA: FAZAVIY TARKIB VA EKSTRAKSIYA MEXANIZMI O‘RTASIDAGI BOG‘LIQLIK.

XRF va XRD natijalarini birgalikda tahlil qilish shuni ko‘rsatadiki, Angren IES kul-shlaki mineral matritsasi asosan kvarts va aluminosilikat fazalar bilan belgilanadi. Bunday matritsa kimyoviy jihatdan nisbatan barqaror bo‘lib, undagi mikroelementlar erkin ion yoki oddiy tuzlar holida emas, balki kristall yoki amorf silikat panjarasi ichida, shuningdek Fe-Ca-Al-Si aralash fazalari bilan assotsiyalangan bo‘lishi mumkin.

Bevosita kislotali yuvish jarayonida HCl yoki H_2SO_4 eritmalari Ca, Fe, Mg kabi nisbatan reaktiv komponentlarni eritmaga o‘tkazishi mumkin, ammo kvarts va barqaror aluminosilikat fazalar kislotalarga nisbatan sust eriydi. Natijada REE elementlarining bir qismi matritsa ichida saqlanib qoladi. Shu sababli ko‘mir kuli va kul-shlaklarni qayta ishlash bo‘yicha ko‘plab tadqiqotlarda ishqoriy faollashtirish, ishqoriy eritish yoki termokimyoviy aktivatsiya bosqichlari tavsiya etiladi.

Ishqoriy aktivatsiya jarayonida NaOH yoki Na_2CO_3 ishtirokida silikat-aluminosilikat panjara qisman buziladi, natriy aluminosilikatlar, eruvchan

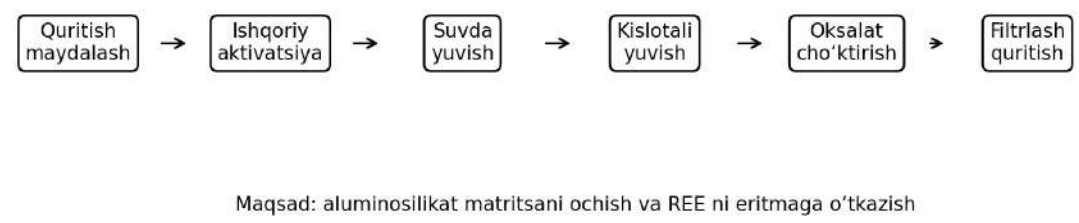
ISSN 3030-3907

silikatlar yoki kislota bilan osonroq reaksiyaga kirishadigan metastabil fazalar hosil bo‘ladi. Keyingi kislotali yuvish bosqichida esa REE, Sr, Ba, Fe, Al va boshqa komponentlarning eritmaga o‘tishi kuchayadi. Bunda jarayonni haddan tashqari agressiv olib borish ham maqsadga muvofiq emas, chunki asosiy makrokomponentlarning ko‘p erishi eritmani murakkablashtiradi va REE ni selektiv ajratish xarajatini oshiradi.

Shu nuqtayi nazardan, Angren IES kul-shlaklari uchun optimal yondashuv bosqichma-bosqich selektivlikni oshirishdan iborat bo‘lishi kerak: avval mexanik tayyorlash va fraksiyalash, keyin matritsani ochuvchi ishqoriy aktivatsiya, so‘ng nazorat qilinadigan kislotali yuvish, yakunda esa REE ni oksalat yoki gidroksid shaklida cho‘ktirish. Keyingi tadqiqotlarda har bir bosqichda qattiq qoldiq va eritma alohida ICP-MS yoki ICP-OES yordamida tekshirilsa, elementlarning real mass-balansi va ekstraksiya darajasi aniqlanadi.

TAKLIF ETILGAN TEXNOLOGIK SXEMA VA PARAMETRLAR.

Olingan natijalar asosida Angren IES kul-shlak chiqindilaridan qimmatbaho va kamyob elementlarni ajratib olish uchun quyidagi texnologik ketma-ketlik taklif etiladi. Sxema laboratoriya tajribalari uchun mo‘ljallangan bo‘lib, sanoatga joriy etishdan oldin reagent sarfi, energiya sarfi, filtrlanish xossalari, eritma tarkibi, chiqindi eritmalarni neytrallash va iqtisodiy samaradorlik bo‘yicha alohida optimallashtirish talab etiladi.



4-rasm. Angren IES kul-shlak chiqindilaridan REE ajratib olish uchun taklif etilgan texnologik ketma-ketlik

Jarayonning birinchi bosqichida kul-shlak quritiladi, maydalab bir jinsli fraksiyaga keltiriladi va kerak bo‘lsa magnit ajratish orqali temirga boy qism alohida o‘rganiladi. Ikkinchi bosqichda NaOH yoki Na_2CO_3 bilan termik-ishqoriy aktivatsiya qilinadi. Uchinchi bosqichda ortiqcha ishqor va eruvchan natriy tuzlari suv bilan yuviladi. To‘rtinchi bosqichda HCl yoki H_2SO_4 eritmasida nazorat qilinadigan kislotali yuvish amalga oshiriladi. Yakuniy bosqichda eritmadagi REE oksalat shaklida cho‘ktiriladi, filtrlanadi, yuviladi va quritiladi.

ISSN 3030-3907

4-jadval.

Keyingi laboratoriya tajribalari uchun tavsiya etiladigan texnologik parametrlar

Bosqich	O‘zgaruvchi parametr	Tavsiya etiladigan diapazon	Maqsad
Ishqoriy aktivatsiya	NaOH yoki Na_2CO_3/kul nisbati	0,5:1–1,5:1	Aluminosilikat asosni destruksiyalash va reaktiv faza hosil qilish
Ishqoriy aktivatsiya	Harorat	500–700 °C	Silikat panjarasini faollashtirish
Ishqoriy aktivatsiya	Vaqt	60–180 min	Fazaviy transformatsiyani boshqarish
Suvda yuvish	S:L nisbati	1:5–1:10	Ortiqcha ishqor va eruvchan tuzlarni ajratish
Kislotali yuvish	HCl yoki H_2SO_4 konsentratsiyasi	1–3 M	REE ni eritmaga o‘tkazish
Kislotali yuvish	Harorat	70–95 °C	Diffuziya va eritmaga o‘tish tezligini oshirish
Kislotali yuvish	S:Q nisbati	1:5–1:15	Modda almashinishini optimallashtirish
Cho‘ktirish	$(NH_4)_2C_2O_4$ sarfi	Stoxiometrik + 10–20 %	REE oksalat konsentratini olish

Taklif etilgan parametrlar yakuniy texnologik rejim sifatida emas, balki tajriba dizayni uchun boshlang‘ich matritsa sifatida qaralishi lozim. Ilmiy maqola darajasini oshirish uchun keyingi bosqichda harorat, vaqt, reagent/kul nisbati va kislota konsentratsiyasi bo‘yicha faktorli tajriba rejasini tuzish, har bir tajribada Eu, Y, Zr, Sr va Ba ning eritmaga o‘tish darajasini foizlarda hisoblash zarur. Aynan ekstraksiya darajasi va mass-balans natijalari maqolaning keyingi versiyasini kuchli eksperimental ishga aylantiradi.

TEXNOLOGIK YANGILIK VA AMALIY AHAMIYAT.

ISSN 3030-3907

Ishning asosiy ilmiy-amaliy ahamiyati Angren IES kul-shlak chiqindisini mahalliy texnogen xomashyo sifatida baholab, uning fazaviy-kimyoviy tarkibi asosida qayta ishlash yo‘nalishini tanlash bilan belgilanadi. Ya’ni texnologik sxema umumiy taxmin bilan emas, balki XRD va XRF natijalaridan kelib chiqib taklif etildi.

Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, materialdagi asosiy to‘siq – zich silikat-aluminosilikat matritsa. Shu sababli bevosita kislotali yuvishdan ko‘ra, matritsani ishqoriy aktivatsiya orqali ochish va shundan so‘ng kislotali yuvish o‘tkazish ilmiy jihatdan asosliroqdir. Bunday yondashuv REE ni eritmaga o‘tkazish ehtimolini oshiradi hamda qattiq qoldiqni keyinchalik qurilish materiallari yoki sorbentlar ishlab chiqarishda ishlatish imkoniyatini ham saqlab qoladi.

Ekologik nuqtayi nazardan, Pb, Zn, Cu, V va Co kabi elementlarning mavjudligi kul-shlakni faqat xomashyo emas, balki nazorat talab qiluvchi chiqindi sifatida ham ko‘rsatadi. Demak, kompleks qayta ishlash texnologiyasi qimmatli komponentlarni olish bilan birga og‘ir metallarning atrof-muhitga tarqalish xavfini kamaytirishga xizmat qilishi mumkin.

XULOSA.

1. Angren IES kul-shlak chiqindisi tarkibida Si (25,1 %), Al (14,2 %), Ca (4,22 %) va Fe (2,50 %) ustun bo‘lib, u aluminosilikat-kalsiy-temirli texnogen xomashyo sifatida baholandi.

2. Oksid ekvivalentida SiO_2 (53,70 %) va Al_2O_3 (26,83 %) ulushining yuqoriligi XRD natijalarida kuzatilgan kvarts va aluminosilikat fazalar bilan mos keladi.

3. XRF tahliliga ko‘ra, kul-shlak tarkibida Zr (1790 ppm), Ba (1310 ppm), Sr (688 ppm), Eu (658 ppm), Zn (363 ppm), Pb (148 ppm), V (120 ppm), Co (90 ppm), Cu (61 ppm), Y (51 ppm) va W (51 ppm) kabi qimmatli hamda ekologik ahamiyatga ega elementlar mavjud.

4. XRD profillarida $2\theta \approx 26{,}6°$ da eng intensiv pik qayd etilib, kvarts fazasining ustunligi ko‘rsatildi. 20–40° oralig‘idagi qo‘shimcha piklar aluminosilikat fazalar mavjudligini tasdiqlaydi.

5. REE elementlarining mineral matritsa bilan bog‘langan bo‘lishi ehtimoli yuqori bo‘lgani uchun ularni ajratib olishda ishqoriy aktivatsiya – kislotali yuvish – oksalat cho‘ktirish ketma-ketligi eng asosli laboratoriya yo‘nalishi sifatida taklif etildi.

6. Keyingi bosqichda ICP-MS yoki ICP-OES yordamida eritma va qattiq qoldiq bo‘yicha mass-balans tuzish, ekstraksiya darajasini aniqlash va texnologik parametrlarni optimallashtirish maqolaning eksperimental ishonchliligini sezilarli kuchaytiradi.

ISSN 3030-3907

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Zhang W., Noble A., Yang X., Honaker R. A comprehensive review of rare earth elements recovery from coal-related materials. Minerals. 2020;10(5):451. DOI: 10.3390/min10050451.
2. King J.F., Taggart R.K., Smith R.C., Hower J.C., Hsu-Kim H. Aqueous acid and alkaline extraction of rare earth elements from coal combustion ash. International Journal of Coal Geology. 2018;195:75–83. DOI: 10.1016/j.coal.2018.05.009.
3. Tang M., Zhou C., Zhang N., Pan J., Cao S., Hu T., Ji W., Wen Z., Nie T. Extraction of rare earth elements from coal fly ash by alkali fusion-acid leaching: mechanism analysis. International Journal of Coal Preparation and Utilization. 2022;42(3):536–555. DOI: 10.1080/19392699.2019.1623206.
4. Park S., Liang Y. Bioleaching of trace elements and rare earth elements from coal fly ash. International Journal of Coal Science & Technology. 2019;6:74–83. DOI: 10.1007/s40789-019-0238-5.
5. Akhmetova M.A., Massakbayeva S.R. Extraction of metals from ash wastes of thermal power plants. German International Journal of Modern Science. 2021;10:4–6.
6. Zvereva E.R., Plotnikova V.P., Burganova F.I., Zverev L.O. Complex method of disposal of ash and slag waste of heat electric power stations. Vestnik KGEU. 2019;2(42):15–24.
8. Podgorodetskiy G.S., Gorbunov V.B., Agapov E.A., Erokhov T.V., Kozlova O.N. Problems and prospects of utilization of ash and slag waste of thermal power plants. Part 1. Izvestiya VUZ. Chernaya metallurgiya. 2018;61(6):439–446. DOI: 10.17073/0368-0797-2018-6-439-446.
9. Taskin A.V. Analysis of the chemical composition of ash and slag waste from thermal power plants of the Far Eastern region as technogenic deposits of precious metals. 2014.

ISSN 3030-3907