QORAQALPOQ DAVLAT UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/2025.27.12.T.04.08 RAQAMLI ILMIY KENGASH

TOSHKENT KIMYO-TEXNOLOGIYA INSTITUTI

RAHIMQULOV SHOKIR RIZOYEVICH

MAHALLIY XOMASHYO MANBALARI ASOSIDA RUX OKSIDI OLISH TEXNOLOGIYASINI ISHLAB CHIQISH

02.00.13-Noorganik moddalar va ular asosidagi materiallar texnologiyasi

TEXNIKA FANLARI FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI

Nukus – 2026

UO‘K 661.847.22

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi
Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
Contents of dissertation abstract of doctor philosophy (PhD)

Rahimqulov Shokir Rizoyevich
Mahalliy xomashyo manbalari asosida rux oksidi olish
texnologiyasini ishlab chiqish.....3

Рахимкулов Шокир Ризоевич
Разработка технологии получения оксида цинка на
основе местных сырьевых источников…….....21

Rakhimkulov Shokir Rizoyevich
Development of a technology for producing zinc oxide
based on local raw material sources…….....39

E’lon qilingan ishlar ro‘yxati
Список опубликованных работ
List of published works.....42

QORAQALPOQ DAVLAT UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/2025.27.12.T.04.08 RAQAMLI ILMIY KENGASH

TOSHKENT KIMYO-TEXNOLOGIYA INSTITUTI

RAHIMQULOV SHOKIR RIZOYEVICH

MAHALLIY XOMASHYO MANBALARI ASOSIDA RUX OKSIDI OLISH TEXNOLOGIYASINI ISHLAB CHIQISH

02.00.13-Noorganik moddalar va ular asosidagi materiallar texnologiyasi

TEXNIKA FANLARI FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI

Nukus – 2026

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2025.1.PhD/T5236 raqam bilan ro‘yxatga olingan.

Dissertatsiya Toshkent kimyo-texnologiya institutida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida (www.karsu.uz) va «ZiyoNet» axborot ta’lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:	**Samadiy Murodjon Abdusalimzoda** texnika fanlari doktori, professor
Rasmiy opponentlar:	**Seitnazarov Atanazar Reipnazarovich** texnika fanlari doktori, professor
	To‘rayev Zokirjon texnika fanlari doktori, professor
Yetakchi tashkilot:	**Farg‘ona davlat texnika universiteti**

Dissertatsiya ishi himoyasi Qoraqalpoq davlat universiteti huzuridagi DSc.03/2025.27.12.T.04.08 raqamli ilmiy kengashning 2026-yil «14» noyabr soat 16^{00} dagi majlisida bo‘lib o‘tadi. (Manzil: 230112, Nukus shahri, Akademik Ch. Abdirov ko‘chasi, 1. Tel.: (+99855) 105-60-48; faks: (+99855) 105-60-48, e-mail: karsu_info@edu.uz).

Dissertatsiya ishi bilan Qoraqalpoq davlat universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№ 613-raqam bilan ro‘yxatga olingan). Manzil: 230112, Nukus shahri, Akademik Ch. Abdirov ko‘chasi, 1. Tel.: (+99855) 105-60-48; faks: (+99855) 105-60-48.

Dissertatsiya avtoreferati 2026 yil «31» oktabr kuni tarqatildi.
(2026 yil «31» oktabrdagi № 6-raqamli reestr bayonnomasi).

Reymov A.M.
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash raisi, t.f.d., professor, akademik

Kazaxbaev S.A.
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash kotibi, t.f.f.d., (PhD), dotsent

Turemuratov Sh.N.
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi, k.f.d., professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Dunyo bo‘yicha hozirgi vaqtda tarkibida rux saqlovchi xomashyolardan to‘liq foydalangan holda rux oksidini olish va chiqindisiz texnologiyalarni joriy etishga katta e’tibor qaratilmoqda. Rux oksidini dunyo bo‘yicha umumiy ishlab chiqarish hajmi yiliga 10,5-11 mln. tonnani tashkil etadi. Shu munosabat bilan rux birikmalari, xususan, nanozarrachali rux oksidi alohida ahamiyat kasb etadi. Rux oksidi o‘zining noyob fizik va kimyoviy xususiyatlari bilan ajralib turadi va u istiqbolli universal material sifatida qarash imkonini beradi. Rux oksidi bir o‘lchamli, ikki o‘lchamli va uch o‘lchamli (3D) tuzilmalarda mavjudligi sababli, nanozarrachali rux oksidi turli sohalarda qo‘llanish istiqboliga ega bo‘lgan yangi material sifatida qaraladi. Rux oksidining qo‘llanish sohasi nihoyatda keng bo‘lib, u gaz analizatori, quyosh batareyalari, rezina mahsulotlar ishlab chiqarishda, yarim o‘tkazgich qurilmalarda, kataliz, sog‘liqni saqlash, kosmetika va kosmik sohalarni ishlatilib kelinmoqda. Shu munosabat bilan mahalliy xomashyo manbalaridan nanozarrachali rux oksidi olish texnologiyalarini ishlab chiqish, muhim ahamiyat kasb etadi.

Jahonda yetakchi ilmiy markazlar tomonidan turli iqtisodiyot tarmoqlariga ta’sir ko‘rsatadigan nanozarrachali rux oksidini sintez qilishning turli usullarini ishlab chiqishga qaratilgan keng ko‘lamli tadqiqotlar olib bormoqda. Bu borada, nanozarrachali rux oksidi ishlab chiqarish, unga eng mos keluvchi xom ashyo manbasini tanlash, rux saqlovchi xom ashyoni xlorid kislotasi bilan parchalash va rux xlorid eritmalarini aralashmalardan tozalash, rux xlorid eritmasini karbamid bilan ishlov berish uchun o‘ta yuqori chastotali nurlanish yordamida nanozarrachali rux oksidi olishning texnologik parametrlarini belgilashga alohida e’tibor qaratilmoqda.

Respublikamizda mahalliy xomashyo manbalari asosida rux birikmalarini ishlab chiqarish va kimyo sanoatini rivojlantirishga qaratilgan keng ko‘lamli chora-tadbirlar amalga oshirilib, muayyan ilmiy va amaliy natijalarga erishilmoqda. Jumladan, rux birikmalari, rux xloridi, rux sulfati, rux fosfati va rux oksidlarini alohida takidlash mumkin. 2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonni taraqqiyot strategiyasining uchinchi yo‘nalishida “...milliy iqtisodiyot barqarorligini ta’minlashga qaratilgan sanoat siyosatini amalga oshirishni davom ettirish, yalpi ishlab chiqarishda sanoatning ulushini oshirish hamda ichki mahsulot ishlab chiqarish va sanoat ishlab chiqarish hajmini 1,4 barobar oshirish...”[1] kabi muhim vazifalar belgilab berilgan. Bu borada, mahalliy xomashyodan foydalanib nanozarrachali rux oksidi olish uchun maqbul usullarini joriy etish, hamda nanozarrachali rux oksidi olishning oqilona, tejamkor texnologiyasini ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 24-iyundagi PQ-5159-sonli “Kon-metallurgiya sanoati va unga bog‘liq sohalarni rivojlantirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”, 2019-yil 17-yanvardagi PQ-4124-son “Kon-metallurgiya sanoati korxonalari faoliyatini yanada takomillashtirish chora-

[1] O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60 son «2022-2026 yillarda Yangi O‘zbekistonni taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi Farmoni

tadbirlari to‘g‘risida”gi, 2020-yil 26-maydagi PQ-4731-sonli “Olmaliq KMK” AJ konlari negizida rangli va qimmatbaho metallar ishlab chiqarishni kengaytirishga doir qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi Qarorlarida, shuningdek, O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-sonli “2022-2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi Farmoni hamda mazkur faoliyatga tegishli me’yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning Respublika fan va texnologoyalari rivojlantirishi ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot Respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining VII “Kimyoviy texnologiyalar va nanotexnologiyalar” ustuvor yo‘nalishiga muvofiq bajarilgan.

Muammoni o‘rganganlik darajasi. Ilmiy-texnik adabiyotlarda rux saqlovchi xomashyo manbalarini rux sulfati, rux fosfati va boshqa birikmalarga qayta ishlashga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar keng yoritilgan. Bu borada ilmiy izlanishlar M.A. Polyak, I.N. Lisichkin, V.S. Korolyov, Yu.Ya. Kaganovich, A. Bakin, A. El-Shaer, M.V. Garrido, M.C. Portillo, H. Juarez, X. Lou, Jahangiri Ali Reza, H.M. Lin, S.J. Tzeng, P.J. Hsiau, D.R. Fosnachtet, V. Van Der Pas, Mi Li, Pan Tsen-xuan va boshqa yetakchi olimlarning ilmiy maktablari tomonidan olib borilgan.

Respublikamizda mahalliy xomashyo resurslari asosida polimetall rudalar, mis tarkibli minerallar, rangli metallar ishlab chiqarish chiqindilarini ikkilamchi xomashyo sifatida qayta ishlash texnologiyalarini ishlab chiqishga yo‘naltirilgan ilmiy-tadqiqot ishlari X.T. Sharipov, Z.Ch. Kadirova, Sh.Sh. Daminova, A.A. Saidaxmedov, X.R. Ismatov, O.F. Xodjayev, I.I. Usmanov va boshqalarning ishlarida o‘z aksini topgan.

Ammo muayyan natijalarga erishilgan bo‘lsada, respublikada mavjud rux saqlovchi manbalardan, nano o‘lchamdagi metall oksidlari, xususan, rux oksidi olish texnologiyasini ishlab chiqish to‘g‘risida ishonchli va ilmiy asoslangan ma’lumotlar mavjud emas.

Dissertatsiya mavzusini dissertatsiya bajarilgan oliy ta’lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya tadqiqotlari Toshkent kimyo-texnologiya instituti ilmiy-tadqiqot ishlari rejasining A-12-31-“Past navli silvinitlarni flotatsiya usulda kaliy xloridga qayta ishlash texnologiyasini ishlab chiqish” (2015-2017-yy.) mavzusidagi amaliy loyihasi; “Sho‘rtan gaz-kimyo majmuasi” MChJ bilan KM/6424-sonli “Sho‘rtan gaz-kimyo majmuasi” MChJ korxonasining ishlatilgan molekulyar sito (seolitni) alyuminiy oksidi, kaliy nitrat va rux fosfatiga kompleks qayta ishlash” (2024-2026-yy.) mavzusidagi xo’jalik shartnoma, hamda 2020-2026-yillarga mo‘ljallangan “Xondiza konining polimineral rudalarini qayta ishlash texnologiyalarining ilmiy asoslarini ishlab chiqish” mavzusidagi ilmiy-tadqiqot ishlari doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi Xondiza koni rux saqlovchi xomashyolaridan nanozarrachali rux oksidi olish texnologiyasini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqot vazifalari:

Xondiza konining rux tutgan polimetall rudalarining kimyoviy va mineralogik tarkibini o‘rganish;

rux tutgan rudani flotatsiyalash jarayonini o‘rganish;

rux konsentratini oldindan kuydirishning rux xlorid olishni fraksion, kimyoviy tarkibi va texnologik parametrlariga ta’sirini o‘rganish;

rux xlorid eritmasini qo‘shimcha birikmalardan tozalash jarayonini aniqlash;

o‘ta yuqori chastotali nurlanish yordamida nanozarrachali rux oksidini sintez qilishni o‘rganish;

nanozarrachali rux oksidini sintez qilish jarayonining optimal texnologik parametrlarini aniqlash;

nanozarrachali rux oksidi olish texnologiyasini sinovdan o‘tkazish;

Xondiza koni tarkibida rux saqlovch rudasidan olingan konsentratini nanozarrachali rux oksidi kukuniga qayta ishlash maqsadida texnologik sxema va materiallar balansini ishlab chiqish hamda texnik-iqtisodiy hisob-kitoblarini bajarish.

Tadqiqot obyekti polimetall ruda, boyitilgan rux konsentrati, xlorid kislota, karbamid, rux karbonat gidroksid gidrati hisoblanadi.

Tadqiqot predmeti rux saqlovchi xomashyoni kislota bilan parchalash jarayonlari, rux xloridi eritmasini qo‘shimcha aralashmalardan tozalash hamda uni nanozarrachali rux oksidi ishlab chiqrishdan iborat.

Tadqiqot usullari. Dissertatsiya ishida kimyoviy, rentgen-fluoressensiya, rentgen-spektral, atom yutilish, IQ-spektroskopik, skanerli elektron mikroskop tahlil usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotining ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

Xondiza koni polimetal rudasini to‘g‘ridan-to‘g‘ri flotatsiya usuli bilan boyitishning optimal texnologik parametrlari aniqlangan;

tarkibida rux bo‘lgan konsentratni oldindan kuydirish va avtoklavda rux xlorid kislotasi bilan parchalashda ruxni eritmaga o‘tish darajasini oshirish mumkinligi aniqlangan;

rux xlorid eritmasini aralashmalardan tozalash jarayonining optimal texnologik parametrlari aniqlangan;

birinchi marta o‘ta yuqori chastotali nurlanish yordamida rux xlorid va karbamid aralashmalaridan nanozarrachali rux oksidi olish imkoniyati aniqlangan;

rux xloridning tozalangan eritmalaridan rux oksidi nanozarrachalarini olishning optimal texnologik parametrlari aniqlangan;

rux konsentratini nanozarrachali rux oksidi kukuniga qayta ishlash uchun texnologik sxema ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

Xondiza konining polimetal rudani flotatsiya usuli bilan to‘g‘ridan-to‘g‘ri boyitib, rux konsentratini olish imkoniyati ko‘rsatilgan;

tarkibida rux bo‘lgan konsentratdan rux xloridning tozalangan eritmalarini olish imkoniyati aniqlangan;

o‘ta yuqori chastotali nurlanish yordamida rux xlorid eritmasi va karbamid orqali nanozarrachali rux oksidini sintez qilish imkoniyati asoslangan;

rux konsentratini nanozarrachali rux oksidi kukuniga qayta ishlash bo‘yicha ilmiy asoslangan, samarali texnologiyasi ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijasining ishonchliligi zamonaviy fizik-kimyoviy tadqiqotlar natijalari ishlab chiqilgan texnologiyani tajriba-sanoat sharoitida sinovdan o‘tkazishda tasdiqlangan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati shundaki, u Xonjiza konining polimetall rudasini mamlakat iqtisodiyoti uchun muhim bo‘lgan import o‘rnini bosuvchi kimyoviy mahsulot nanozarrachali rux oksidi kukuni ishlab chiqarishga jalb qilish asoslarini yaratdi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati Xondiza konidan olingan polimetall rudalarni nanozarrachali rux oksidi kukuniga qayta ishlash texnologiyasini ishlab chiqish va Respublikaning ushbu mahsulotga bo‘lgan ehtiyojini to‘liq ta’minlashdan iborat.

Tadqiqot natijalarining amaliyotga tadbiqi. Rux kontsentratini nanozarrachali rux oksidiga qayta ishlash texnologiyasini ishlab chiqish oid olingan ilmiy natijalar asosida:

polimetall rudasini to‘g‘ridan-to‘g‘ri flotatsion boyitish texnologiyasi, kontsentratni dastlabki kuydirish va rux xloridi eritmasini qo‘shimcha aralashmalardan tozalash orqali ruxni ajratib olish texnologiyasi “Elektrokimyozavod” QK AJning tajriba-sanoat sharoitida sinovdan o‘tkazilgan va “Elektrokimyozavod” QK AJning istiqbolli, joriy etiladigan ishlanmalari ro‘yxatiga kiritilgan (“Elektrokimyozavod” QK AJning 2026-yil 26 fevraldagi № 12-sonli ma’lumotnomasi). Natijada, flotatsiya bilan boyitilgan rux konsentratini keyinchalik qayta ishlash uchun rux xloridining tozalangan eritmasiga qayta ishlash imkoniyati yaratildi;

tozalangan rux xlorid eritmasini o‘ta yuqori chastotali nurlanish yordamida karbamid bilan konversiya qilish va o‘ta yuqori chastotali nurlanishdan foydalanib nanozarrachali rux oksidiga aylantirish texnologiyasi “Elektrokimyozavod” QK AJning tajriba-sanoat sharoitida sinovdan o‘tkazilgan va “Elektrokimyozavod” QK AJning istiqbolli, joriy etiladigan ishlanmalari ro‘yxatiga kiritilgan (“Elektrokimyozavod” QK AJning 2026-yil 26 fevraldagi 12-sonli ma’lumotnomasi). Natijada nanozarrachali rux oksidini ishlab chiqarish imkoniyatini bergan.

Tadqiqot natijalarini aprobatsiyasi. Mazkur tadqiqot natijalari 2 ta xalqaro va 6 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida ma’ruzalar qilingan va muhokamadan o‘tkazilgan.

Tadqiqot natijalarini nashr etilishi. Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha jami 14 ta ilmiy ish nashr etilgan, jumladan O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalarining asosiy ilmiy natijalarini chop etish uchun tavsiya etilgan mahalliy jurnallarda 3 ta, xorijiy jurnallarda 3 ta maqola chop etilgan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to‘rtta bob, xulosa, foydalanilgan 147 nomli adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan tashkil topgan. Dissertatsiyaning hajmi 106 betdan iborat.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya ishning dolzarbligi va unga bo‘lgan ehtiyoj asoslab berilgan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari aniqlashtirilgan, tadqiqot obyekti va predmeti tavsiflangan. Shuningdek, dissertatsiya ishining Respublika ilm-fan va texnologiyalarini rivojlantirishning ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi ko‘rsatib o‘tilgan. Ishning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari yoritilgan, chop etilgan ilmiy ishlar va dissertatsiyaning tuzilmasi haqida ma’lumotlar keltirilgan.

Birinchi bob **“Rux oksidini olish sohasning zamonaviy holati”** adabiyotlar sharhiga bag‘ishlangan bo‘lib, unda rux oksidining xossalari, qo‘llanilish sohalari, unga bo‘lgan talab va ishlab chiqarish hajmlari haqida ma’lumotlar keltirilgan. Shuningdek, uni olish usullari bo‘yicha olib borilgan ilmiy-tadqiqot ishlarining natijalari tanqidiy tahlil qilingan. Adabiyot manbalarining tahlili asosida tadqiqotning maqsadi va vazifalari shakllantirilgan.

Ikkinchi bob **“Boshlang‘ich, oraliq va yakuniy mahsulotlarning xossalari”** tadqiqot obyekti, tajribalar o‘tkazish usullari, kimyoviy tahlil metodikalari hamda fizik-kimyoviy tadqiqot usullariga bag‘ishlangan. Ushbu bobda ishlatilgan xomashyolar, hosil bo‘ladigan oraliq va yakuniy mahsulotlarning tavsifi, ularni o‘rganish jarayonida qo‘llanilgan eksperimental va analitik usullar batafsil yoritilgan.

Uchinchi bob **“Nanozarrachali rux oksidini olish jarayonini o‘rganish”** Xondiza konidan olingan rux saqlovchi xom ashyosini xlorid kislotasi bilan avtoklav usulida parchalab rux xlorid eritmasini olib, hosil bo‘lgan eritmadan nanozarrachali rux oksidi kukuni olish bo‘yicha o‘tkazilgan ilmiy-tadqiqot ishlariga bag‘ishlangan. Buning uchun ruda va rux konsentrati namunalari tanlab olingan.

Buning uchun ruda namunalari olindi. Rentgenofluoressent tadqiqot ma’lumotlariga ko‘ra, rux rudasida 25 % va undan ortiq kremniy, 5 % va undan ortiq rux, taxminan 3,4 % temir, 1 % gacha mis mavjud.

Ma’dandan ruxni 28 % xlorid kislota bilan avtoklav usulida ajratib olish bo‘yicha dastlabki tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, tanlab eritish mahsuloti deyarli qatlamlarga ajralmaydi va filtrlanmaydi. Shuning uchun keyingi tadqiqotlar rudani to‘g‘ridan to‘g‘ri flotatsiya usuli bilan boyitishga qaratildi.

Tadqiqotlar maydalagich, sharsimon tegirmon, magnit ajratgich, elaklar to‘plami, rudani yuvish uchun bak, quritish shkafi va flotatsiya mashinasini o‘z ichiga olgan namunaviy laboratoriya qurilmasida olib borildi.

Dissertatsiyaning ushbu bo‘limida Xondiza koni polimetall minerallarini flotatsiyalash orqali rux konsentrati olish jarayoni tahlil qilingan va rudani tayyorlash, qo‘shimcha minerallarni depressiyalash, sfaleritni faollashtirish, kollektor va ko‘pik hosil qiluvchini tanlash bosqichlari batafsil yoritilgan. Foydalaniladigan flotoreagentlarning nisbatlari va ularning konsentrat unumiga ta’siri ilmiy asoslangan.

Qo‘shimcha minerallarni depressiyalash uchun rux sulfat ($ZnSO_4$) va suyuq shishadan foydalanildi. Bu reagentlar dastlab pirit va mis minerallarini flotatsiya yo‘li bilan chiqaradi. So‘ngra ular sfaleritni depressiyalaydi, bu esa keyinchalik uni teskari flotatsiyalash orqali faollashtirish imkonini beradi.

Sfaleritni keyingi teskari flotatsiyaga tayyorlashdagi eng muhim jarayon uni faollashtirishdir. Buning uchun mis sulfat $CuSO_4$ va bariy sulfat $BaSO_4$ ishlatilgan.

Flotatsiya jarayonida $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ yoki $BaSO_4$ aktivator sifatida qo‘shilganda, ZnS ning gidrofobikligining ortishi va konsentratdagi miqdorining ortishi kuzatildi.

Natriy va ammoniy sulfidlari sulfidlash uchun ishlatilgan, bu esa ZnO va $ZnCO_3$ ni ZnS shakliga o‘tkazgan.

Gidrofoblikni oshirish uchun natriy oleatdan foydalanildi. Uning ta’sirida sirt energiyasi kamayadi va zarrachalar havo pufakchalariga yaxshiroq yopishadi.

Ko‘pikning barqarorligini ta’minlash uchun metilizobutilkarbinol va natriy oleatdan foydalanildi, bu esa rux minerali zarrachalarining sirtga ko‘tarilishini ta’minlagan holda mayda va barqaror pufakchalarni olish imkonini berdi.

1-Jadval

Rux rudasini flotatsiya qilishda qo‘llanilgan reagentlar, ularning vazifalari va miqdori

№	Reagentlar	Jarayondagi vazifasi	Ta’sir mexanizmi	Miqdori, g/kg
1	CaO, NaOH	Pulpa muhitining pH ni to‘g‘rilash uchun solinadi	pH 8,0–10,0 bo‘lgan ishqoriy muhit ta’minlanadi	0,5-2,0
2	Suyuq shisha, $ZnSO_4$	Pirit uchun depressor	Temir birikmalarini gidrofil qiladi	0,2-1,0
3	$CuSO_4$, $BaSO_4$	Rux birikmalarini faollashtiradi	Zn^{2+} ionlarining ZnS ga o‘tishini ta’minlaydi	0,050-0,30
4	Na_2S, NH_4HS	Sulfidlovchi vazifasini bajaradi	Rudada ZnO ni ZnS ga aylantiradi	0,10–1,50
5	Olein kislotasi, Natriy oleat	Kollektor vazifasini bajaradi	Rux birikmalariga gidrofoblik xususiyatlarini beradi	0,2-0,4
6	Kerosin, Metilizobutil karbinol	Ko‘pik hosil qiluvchi	Pulpaning yuza faolligini pasaytiradi	0,010–0,050

Flotatsiya jarayonida gidrofob zarrachalar ko‘pikka o‘tadi, gidrofil zarrachalar esa kamera qoldig‘ida qoladi. Flotatsion qo‘shimchalarning ta’siri bo‘yicha olingan natijalar 2-jadvalda keltirilgan.

Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, rux rudalarini flotatsiya usulida boyitishda reagentlar rejimi va ularning o‘zaro ta’siri eng muhim omil hisoblanadi. Sfaleritni samarali faollashtirish, oksidlangan minerallarni sulfidlash va ko‘pikning optimal rejimi yuqori sifatli konsentrat olishni ta’minlaydi.

2-Jadval

Depressorlar, kollektorlar va ko‘pik hosil qiluvchilarning flotatsiya jarayoni samaradorligiga ta’sirini o‘rganish natijalari

№	Flotoreagentlar		Konsentrat		Qoldiq minerallar miqdori, %					
	Nomi	Miqdori, g/l	Rux mineral	Boshqa qo‘ shimcha minerallar	Rux minerali	Kremniy birikmalari	Temir birikmalari	Qo‘ rg‘ oshinli minerallari	Mis minerallari	Metallarning boshqa birikmalari
Depressorlar	Suyuq shisha	0,1	52,20	5,29	8,23	28,05	1,48	1,87	0,82	2,06
		0,2	52,90	5,31	7,66	28,06	1,47	1,76	0,80	2,04
		0,3	52,95	5,39	7,54	28,07	1,48	1,81	0,78	1,98
	$ZnSO_4$	0,1	53,05	5,31	7,31	28,04	1,47	1,91	0,81	2,10
		0,2	53,35	5,34	7,12	28,07	1,44	1,89	0,79	2,00
		0,3	53,40	5,35	7,08	28,04	1,47	1,87	0,80	1,99
Kollektorlar	Olein kislota	0,2	52,80	5,31	7,58	28,05	1,51	1,83	0,81	2,11
		0,3	52,85	5,33	7,52	28,05	1,49	1,84	0,80	2,00
		0,4	52,95	5,34	7,48	28,04	1,51	1,85	0,82	2,01
	Natriy oleat	0,2	53,20	5,36	7,23	28,07	1,45	1,89	0,82	1,98
		0,3	53,30	5,39	7,13	28,04	1,43	1,85	0,79	2,07
		0,4	53,40	5,40	7,03	28,05	1,41	1,84	0,76	2,11
Ko‘ pik hosil qiluvchilar	Kerosin	0,02	52,50	5,32	7,98	28,04	1,45	1,86	0,82	2,03
		0,03	52,60	5,36	7,83	28,05	1,43	1,84	0,82	2,07
		0,04	52,70	5,30	7,73	28,03	1,48	1,89	0,84	2,03
	Metilizobutilkarbinol	0,02	54,20	5,48	6,23	28,04	1,44	1,85	0,79	1,97
		0,03	54,35	5,43	6,13	28,03	1,42	1,85	0,78	1,99
		0,04	54,40	5,44	6,02	28,05	1,48	1,84	0,78	1,99

O‘tkazilgan flotatsion tadqiqotlar natijalariga ko‘ra, Xonjiza konining sfalerit rudasi tarkibidagi yo‘ldosh minerallarni so‘ndirish uchun rux sulfat eng maqbul depressor hisoblanadi, degan xulosaga kelindi. Natriy oleat kollektori va metilizobutilkarbinol ko‘pik hosil qiluvchisi jarayonning yuqori samaradorligini ta’minladi.

Flotatsiya usulida olingan rux konsentrati namunalari kimyoviy va fizik-kimyoviy usullar yordamida o‘rganildi. Rux konsentrati tarkibida 39,45-40,50 % rux, 13,00-13,50 % kremniy, 1,60-1,65 % temir bo‘ladi.

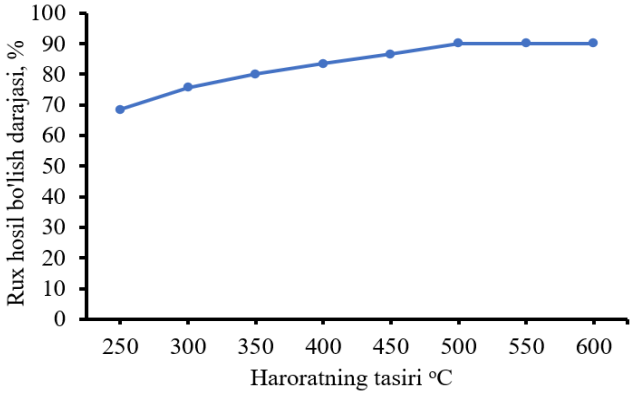
Olib borilgan tadqiqotlar Zn:HCl=1:1,1 mol nisbatda va kislotaning 28 % konsentratsiyasida ruxning konsentratdan eritmaga o‘tish darajasi 68,45 % dan oshmaydi, bu esa cho‘kma bilan ruxning 30 % gacha yo‘qolishiga olib keladi.

Zn:HCl mol nisbatini 1,5 gacha oshirish ruxni ajratib olish darajasini 75 % gacha oshiradi, bu ham yetarli emas. Shuning uchun rux konsentratidan ruxni ajratib olish bo‘yicha tadqiqotlar ilgari ishlab chiqilgan rux konsentratini oldindan qizdirish texnologiyasi bo‘yicha davom ettirildi. Texnik yechimga ko‘ra, ruxni

ajratib olish darajasini oshirish uchun rux konsentratini dastlabki kuydirish va keyinchalik 27-28 % xlorid kislotasi bilan avtoklavda tanlab eritish zarur.

Ajratib olish darajasi 75 %, sanoat sharoitida rux ajratib olishdan foydalanish uchun juda past. Rux boyitmasidan ruxni maksimal darajada ajratib olishning maqbul texnologik parametrlarini oshirish uchun boyitmani kuydirish harorati, Zn:HCl nisbati, 28 % xlorid kislotasi bilan avtoklavda tanlab eritish jarayonining davomiyligiga ta’siri o‘rganildi.

1-rasmda. Ajratib olish harorati 80 °C va tanlab eritish jarayonining davomiyligi 10 soat bo‘lganda rux konsentratini kuydirish haroratining 28 % xlorid kislotasi bilan ruxni ajratib olish darajasiga ta’siri to‘g‘risida ma’lumotlar keltirilgan.



1-Rasm. Rux konsentratini kuydirish jarayonining ruxni ajratib olish darajasiga ta’siri

Rasmdan ko‘rinib turibdiki, haroratning 300 °C dan 500 °C gacha ko‘tarilishi bilan qizdirilgan konsentratdan ruxni ajratib olish darajasi 75,64 % dan 90,05 % gacha oshadi. Kuydirish haroratini yanada oshirish ruxni ajratib olish darajasiga deyarli ta’sir qilmaydi va 600 °C kalsinatsiya haroratida 90,13 % ni tashkil qiladi.

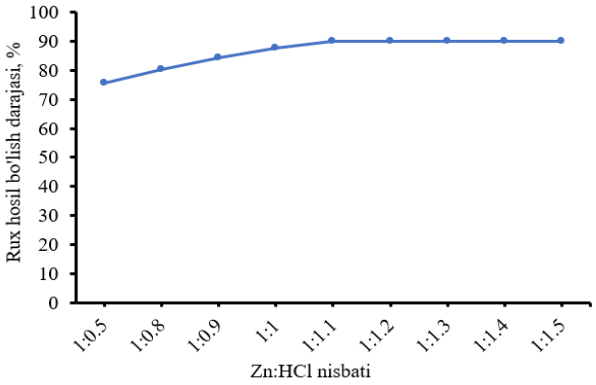
600 °C da kuydirilgan kontsentratdan ruxni 28 % li xlorid kislota bilan 80 °C haroratda va 10 soat davomida eritib ajratib olish darajasiga Zn:HCl nisbatining ta’sirini o‘rganish shuni ko‘rsatdiki, Zn:HCl nisbati ruxni ajratib olish darajasiga sezilarli ta’sir ko‘rsatmaydi (2-rasm).

Shunday qilib, Zn:HCl= 1:0,8 nisbatda ruxning ajralish darajasi 80,25 % ni tashkil qiladi, 1:1,1 nisbatda 90,05 % ga yetadi va Zn:HCl= 1:1,5 nisbatgacha deyarli o‘zgarmaydi.

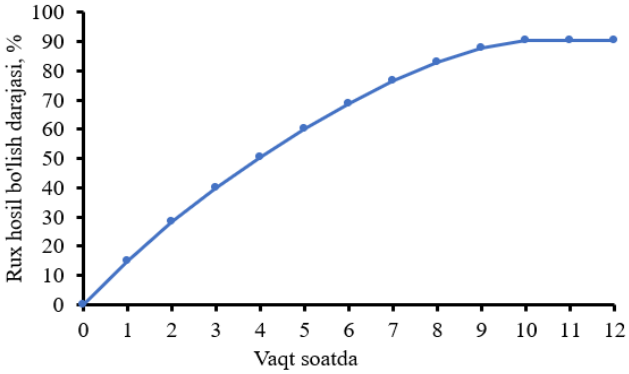
500 °C da kuydirilgan ruxni ajratib olish davomiyligining ta’siri 80 °C haroratda va 28 % kislota konsentratsiyasida o‘rganildi (3-rasm).

Ajratib olish jarayonining davomiyligi oshishi bilan ruxni ajratib olish darajasi oshadi va 5 soatdan keyin 60,18 % ga, 10 soatdan keyin 90,48 % ga yetadi va 10 soat tanlab eritishdan keyin o‘zgarmaydi.

Kuydirilgan konsentratdan ruxni eritib olish bo‘yicha o‘tkazilgan tadqiqotlar 500 °C da kuydirilgan konsentratdan 90 % dan ortiq ruxni ajratib olish imkoniyati aniqlandi.Optimal texnologik parametrlar xlorid kislota konsentratsiyasi 28 %, harorat 80 °C, Zn:HCl nisbati 1:1.1 va avtoklavda eritish jarayonining davomiyligi 10 soat. Ruxning eritmaga o‘tish darajasi 90 % dan ortiq. Eritmadagi rux miqdori 15,34 %, temir 0,7 % va boshqa aralashmalar miqdori foizning o‘n mingdan bir ulushini tashkil etadi.



2-Rasm. 500 °C da kuydirilgan konsentratdan ruxni avtoklav reaktorida ajratib olish darajasiga Zn:HCI nisbatining ta'siri



3-Rasm. 500 °C haroratda kuydirilgan rux konsentratidan ruxni ajratib olishda harorat va jarayon davomiyligining ta'siri

Olingan rux xlorid eritmalarini tarkibida 0,367-0,637 % temir mavjud shuning uchun eritmalarni temirdan tozalash jarayoni ammiak eritmasi yordamida amalga oshirildi. Suyuq fazadagi boshqa komponentlarning miqdori kremniy umuman bo‘lmaganda foizning o‘n mingdan bir ulushini tashkil qiladi.

Ushbu tadqiqot natijasida temirni pH 4-4,5 da cho‘ktirishdan iborat. Bunda rux pH 5 gacha cho‘kmaydi va eritmada qoladi.

Uch valentli temir ammoniy gidroksidi bilan pH 4-4,5 da o‘zaro ta'sirlashib, quyidagi reaksiya bo‘yicha temir gidroksidini hosil qiladi:

$$FeCl_3+3NH_4OH\rightarrow Fe(OH)_3+3NH_4Cl$$

Bunda rux eritmada qoladi va pH 5 dan yuqori bo‘lganda cho‘ka boshlaydi.

Hosil bo‘layotgan temir gidroksidi gel-simon tuzilishga ega va yomon filtrlanadi. Filtrlanuvchanlikni yaxshilash uchun pulpa 1 soat davomida ushlab turildi. Bunda cho‘kma zarrachalari yiriklashadi va filtrlash tezligi yaxshilanadi.

Pulpa ushlab turilgandan so‘ng, u filtrlanadi. Filtrat tarkibida rux xlorid, ammoniy xlorid va ruxning ammiakli komplekslari mavjud. Cho‘kma tarkibida asosan temir gidroksidi mavjud.

Rux reaksiyaga ko‘ra murakkab birikmalar hosil bo‘lishi bilan tavsiflanadi:

$$Zn^{+2}+4NH_4OH\rightarrow[Zn(NH_3)_4](OH)_2+4H_2O$$

bu esa temirni cho‘ktirishda ruxning eruvchan shaklda saqlanishini ta'minlaydi.

Natijada rux xlorid va ammoniy xloridni o‘z ichiga olgan temirsiz eritma hosil bo‘ladi. pH darajasini oshishi rux gidroksid va keyin amin kompleksi hosil bo‘lishiga olib keladi.

Tozalangan rux xlorid eritmasini olish uchun tarkibida 15,35 % rux, 0,69 % temir, 5,66 % xlorid kislota va 23,27 % xlor ioni bo‘lgan 100 g suyuq fazaga 26,9 g 25 % li ammiak eritmasi (pH 4,9) bilan ishlov berildi. Bundan tashqari, 60 daqiqa ushlab turgandan so‘ng, 1,45 g temir gidroksid cho‘kadi. Eritmada 32,3 g rux xlorid va 8,35 g ammoniy xlorid mavjud, bu 25,75 % rux xlorid va 6,65 % ammoniy xloridni o‘z ichiga olgan eritmaga to‘g‘ri keladi.

$ZnCl_2$:$CO(NH_2)_2$ massa nisbatining rux oksidi nanozarrachalar hajmiga ta'sirini o‘rganish uchun 5-15 % rux xlorid va karbamid saqlovchi eritmalar

tayyorlandi, $ZnCl_2$:$CO(NH_2)_2$ nisbati = 1:1. Olingan aralashma pechda 5 daqiqa davomida o‘ta yuqori chastotali nurlanish bilan nurlantirildi. Tajriba davomida olingan natijalar 3-jadvalda keltirilgan.

3-Jadval

$ZnCl_2$ va $CO(NH_2)_2$) nisbatining konversiya darajasiga ta’siri

Na’muna, №	$ZnCl_2$, %	$CO(NH_2)_2$, %	Konversiya darajasi, %
1	5	5	84,61
2	6	6	85,32
3	**7**	**7**	**85,93**
4	8	8	75,56
5	10	10	83,76
6	12	12	76,51
7	14	14	73,85
8	15	15	71,70

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, eritma tarkibida 5 % $ZnCl_2$ va 5 % $CO(NH_2)_2$ bo‘lsa, konversiya darajasi 84,61 % ga etadi. Eritmada rux xlorid miqdori 7 % va karbamid miqdori 7 % bo‘lganda, konversiya darajasining oshishi kuzatiladi. Bu holda, konversiya darajasi 85,93 % ni tashkil qiladi. Eritmada 15 % rux xlorid va 15 % karbamid miqdori bilan konversiya darajasi 71,70 % gacha pasayadi.

Maksimal konversiya darajasiga hissa qo‘shadigan karbamid miqdorini aniqlash uchun rux oksidi nanozarrachalarini sintez qilish jarayoni o‘rganildi; 2 % dan 20 % gacha ko‘paytirilgan miqdorda 7 % rux xlorit va karbamid aralashmasidan iborat eritmalar tayyorlandi (4-jadval). Optimal sharoitlar eritmadagi har bir komponentning 7 % miqdorida $ZnCl_2$:$CO(NH_2)_2$ = 1:1 nisbati bo‘lib, bu maksimal konversiya darajasini ta’minlaydi.

4-Jadval

7 %-li rux xlorid eritmasini o‘ta yuqori chastotali nurlanish bilan ishlov berishda karbamid miqdorining konversiya darajasiga ta’siri

Na’muna №	$ZnCl_2$, %	$CO(NH_2)_2$, %	Konversiya darajasi, %
1	7	2	56,20
2	7	3	70,10
3	7	5	75,93
4	**7**	**7**	**85,93**
5	7	9	85,59
6	7	11	85,02
7	7	13	84,35
8	7	15	83,56
9	7	17	82,74
10	7	20	81,95

Tarkibida 7 % rux xlorid va 7 % karbamid bo‘lgan eritmalar aralashmasidan konversiya jarayoniga o‘ta yuqori chastotali nurlanishning ta’sirini aniqlash maqsadida ishlov berish davomiyligining ta’siri o‘rganildi. Eritmalar aralashmasiga ishlov berish jarayoni 1 daqiqadan 10 daqiqagacha davom etdi,

konversiya darajasi aniqlandi. Tadqiqot davomida olingan natijalar 5-jadvalda keltirilgan.

5-Jadval

7 % li rux xlorid eritmasi va karbamid aralashmasi konversiya darajasiga o‘ta yuqori chastotali nurlanishda vaqtining ta’siri

Na’muna, №	Vaqt, daqiqa	$ZnCl_2$, %	$CO(NH_2)_2$, %	Konversiya darajasi, %
1	1	7	7	59,10
2	3	7	7	75,00
3	**5**	**7**	**7**	**85,93**
4	7	7	7	85,94
5	8	7	7	85,94
6	9	7	7	85,96
7	10	7	7	85,98

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, $ZnCl_2$ va $CO(NH_2)_2$ eritmalari aralashmasiga o‘ta yuqori chastotali nurlanish bilan ishlov berish davomiyligi 1 dan 5 daqiqagacha oshganda konversiya darajasi 59,10 % dan 85,93 % gacha oshadi va keyinchalik deyarli o‘zgarmaydi, 10 daqiqalik ishlovdan so‘ng 85,98 % ni tashkil etadi. Ma’lumotlar shuni ko‘rsatdiki, 7 % $ZnCl_2$ va 7 % $CO(NH_2)_2$ eritmalarini o‘ta yuqori chastotali nurlanish bilan ishlov berishda optimal vaqt besh dan yetti daqiqagacha, konversiya darajasi esa 85,93-85,94 % ni tashkil qiladi.

$Zn_4CO_3(OH)_6 \cdot H_2O$+aq cho‘kmasining kuydirish haroratining nanozarrachali rux oksidi hosil bo‘lishiga ta’sirini o‘rganishda, cho‘kmani oldindan quritib, olingan mahsulotdan namlikni olib tashlamasdan kalsinlash mayda kristalli ZnO olish imkonini bermasligi aniqlandi, chunki yuqori haroratlarda mavjud namlik yopishqoq massa hosil bo‘lishiga olib keladi va reaktor devorlariga yopishadi. Shuning uchun cho‘kma quritish pechida 100-150 °C haroratda namligini yo‘qotish maqsadida oldindan quritiladi. Optimal quritish harorati 120-130 °C ni tashkil etadi.

Quritilgan birikmani optimal kuydirish haroratini aniqlash uchun 300 °C dan 600 °C gacha bo‘lgan haroratning ta’siri o‘rganildi (6-jadval).

6-Jadval

Quritishdan keyin cho‘kmaning konversiyalanish darajasiga kuydirish haroratining ta’siri

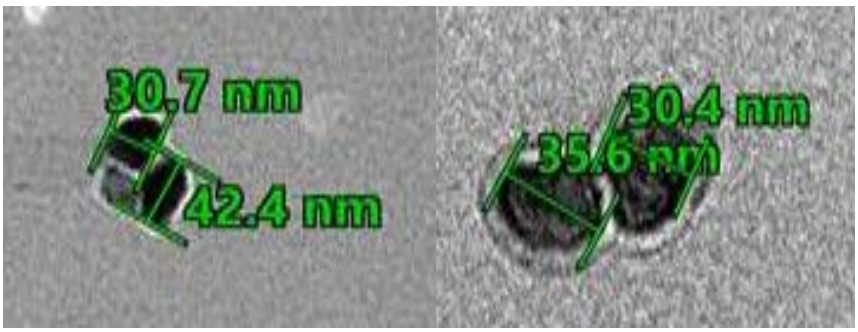
Na’muna №	Harorat, °C	$ZnCl_2$, %	$CO(NH_2)_2$, %	Zn, %	ZnO, %	Konversiya darajasi, %	Nanozarrachalar o‘lchami, nm
1	300	7	7	77,38	96,41	81,80	51,5-78,9
2	350	7	7	78,40	97,60	83,61	36,4-40,7
3	**400**	**7**	**7**	**80,03**	**99,62**	**85,93**	**30,4-35,6**
4	450	7	7	80,04	99,64	85,97	30,3-34,9
5	500	**7**	**7**	80,05	99,67	86,00	30,7-35,3
6	550	7	7	80,06	99,69	86,10	30,1-34,8
7	600	7	7	80,07	99,70	86,11	30,3-35,2

Kuydirish haroratining ortishi ZnO zarrachalarining o‘lchamini 300 °C haroratda 51,5-78,9 nm dan 400 °C haroratda 30,4-35,6 nm gacha kamayishiga

olib keladi va 600 °C haroratgacha deyarli o‘zgarmaydi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, cho‘kindini oldindan quritish 400 °C kalsinatsiya haroratida 30,4-35,6 nm o‘lchamdagi nanozarrachali rux oksidi olish imkonini beradi.

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, cho‘kindini oldindan quritish 400 °C kalsinatsiya haroratida 30,4-35,6 nm o‘lchamdagi nanozarrachali rux oksidi olish imkonini beradi.

Rasm 4. da Xondiza koni rux saqlovchi konsentratidan olingan 5 % li (a) va 7 % li (b) rux xloridi eritmasi va karbamid asosida sintez qilingan nanozarrachali rux oksidi mikrofotosuratlari keltirilgan.



a b

4-Rasm. Nanozarrachali rux oksidini mikrofotosurati

Olingan natijalar bizga rux xlorid va karbamid eritmalarini o‘ta yuqori chastotali nurlantirish jarayonining mexanizmini taklif qilish imkonini beradi, bunda nanozarrachali rux oksidi hosil bo‘ladi.

O‘ta yuqori chastotali nurlanish ta’sirida eritmaning harorati 90 °C dan yuqori ko‘tariladi va karbamidning parchalanish jarayoni quyidagi reaksiyaga muvofiq sodir bo‘ladi:

$$CO(NH_2)_2+2H_2O \xrightarrow{t,\ °C} CO_2+2NH_3+H_2O$$

bunda, eritmaning pH qiymati ammiakni yutilishi bilan ammoniy gidroksid hosil bo‘lishi va karbonat angidridning ajralib chiqishi bilan boradi. Rux xlorid ammoniy gidroksid bilan reaksiyaga kirishib, rux gidroksid va ammoniy xloridni hosil qiladi:

$$ZnCl_2+2NH_4OH \xrightarrow{t,\ °C} Zn(OH)_2+2NH_4Cl$$

hosil bo‘lgan rux gidroksidi ajralib chiqqan karbonat angidrid bilan reaksiyaga kirishib, reaksiyaga muvofiq rux karbonat gidroksid gidratini hosil qiladi:

$$4Zn(OH)_2+CO_2+aq \xrightarrow{t,\ °C} Zn_4CO_3(OH)_6\cdot H_2O+aq$$

quritish jarayonida va keyingi kalsinatsiya jarayonida rux karbonat gidroksid gidrati reaksiyaga muvofiq parchalanadi:

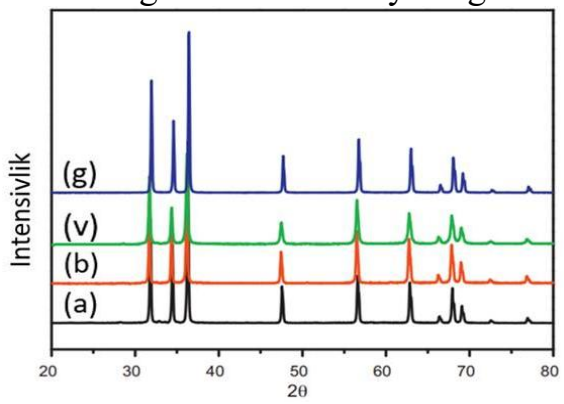
$$Zn_4CO_3(OH)_6\cdot H_2O \xrightarrow{400\ °C} 4ZnO\cdot\uparrow CO_2+\uparrow 4H_2O$$

nanozarrachal rux oksidi hosil bo‘ladi.

Rux oksidi sintezi jarayonida hosil bo‘lgan ammoniy xlorid eritmasi guruch yetishtirish uchun qimmat va eng keragli o‘g‘it hisoblanadi.

Nanozarrachalar xususiyatini aniqlash maqsadida, o‘ta yuqori chastotali nurlatish reaktori yordamida gidrotermal usulda olingan ZnO nanozarrachalarning rentgen difraksion tasvirlari o‘lchandi. Buning uchun rux oksidi nanozarrachalar sintezining optimal sharoitlarida olingan namunalar tanlab olindi va ular 300, 400

hamda 500 °C haroratda kuydirildi. 5-rasmda rentgen difraksiyasi natijalari keltirilgan. Bu yerda a - kuydirilmagan ZnO, b – 300 °C haroratda kuydirilgan, v - 400 °C da va g - 500 °C da kuydirilgan namunalar uchun.



5-Rasm. Rux oksidining rentgen difraksiya ko‘rinishi, (a) kuydirishdan oldin ZnO, (b) 300 °C da, (v) 400 °C da va (g) 500 °C da kuydirilgan namunalar

2θ = 31,8, 34,4, 36,3, 47,5, 56,6, 62,8 va 67,9 da kuzatilgan cho‘qqilar kuydirishgacha bo‘lgan ZnO zarrachalariga mos keladi. Ushbu cho‘qqilar mos ravishda (100), (002), (101), (102), (110), (103) va (112) difraksion tekisliklariga to‘g‘ri keladi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, 300 °C, 400 °C va 500 °C haroratda olingan namunalarda hech qanday aralashmalar kuzatilmadi.

Boshqa tomondan, dastlabki ZnO namunalarining rentgenogrammalarida 2θ oralig‘ida 31.8 dan 34.48 gacha bo‘lgan sohada rux gidrokarbonat gidratiga mos keluvchi kichik cho‘qqilar aniqlangan. Bu esa shuni ko‘rsatadiki, rux xloridi va karbamid aralashmasidan o‘ta yuqori chastotali nurlatish reaktorida gidrotermal usul yordamida toza ZnO ni olishning imkoni yo‘q.

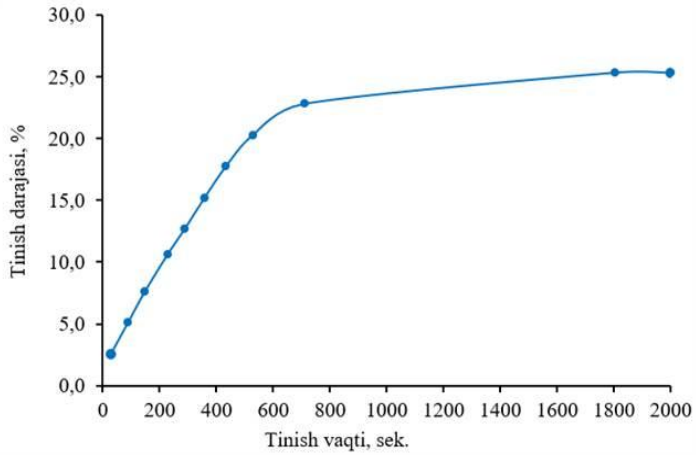
Yaxshi kristallangan ZnO ni yuqori haroratda kuydirilganda so‘ng nanozarrachali rux oksid olinadi.

Fizik-kimyoviy tadqiqotlar optimallashgan sharoitlarda olingan va 99,62 % ZnO, 0,08 % PbO, 0,006 % boshqa elementlarni o‘z ichiga olgan rux oksidi nanokristallari namunalarida o‘tkazildi. Elementlar tahlili natijalari ruxning 80,05 % va kislorodning 19,59 % miqdorda ekanligi aniqlandi, bu esa to‘liq rux oksididagi tarkibiga mos keladi.

Rentgenogrammada 2,81, 2,47, 1,47 va 1,40 Å oralig‘ida diffraktsion maksimal cho‘qqilar mavjud bo‘lib, ular rux oksidiga tegishlidir.

To‘rtinchi bob **“Nanozarrachali rux oksidini olish jarayonining texnologik ko‘rsatkichlarini o‘rganish”** nomlanib, unda rux oksidi suspenziyasining cho‘kish darajasi va filtrlanishini o‘rganish, ishlab chiqilgan rux oksidi nanozarrachalari texnologiyasini sinovdan o‘tkazish, texnologik sxema ishlab chiqish, moddiy oqimlar sxemasini tuzish, moddiy balansni hisoblash hamda dastlabki texnik-iqtisodiy tahlillarni amalga oshirish masalalari ko‘rib chiqildi.

O‘tkazilgan tadqiqotlar rux oksidi suspenziyasining bosimni kamaytirish darajasini o‘rganishda, cho‘kmaning juda tez cho‘kishini ko‘rsatdi. Xususan, 230 soniyada suspenziyaning cho‘kish darajasi 10,6 % ni, 710 soniyada esa 22,8 % ni tashkil etdi. Maksimal cho‘kish darajasi esa 1804 va 2000 soniyalarda 25,3 % ga yetdi. Shu bilan birga, hosil bo‘lgan cho‘kmaning hajmi 74,7 % ni tashkil etadi, bu esa texnologik nuqtai nazardan qoniqarsiz holat hisoblanadi (6-rasm).



6-Rasm. Konversiyadan keyin hosil bo‘lgan suspenziyani tinish darajasi

Suspenziya filtrlash tezligining bosimni kamaytirish darajasi va jarayon haroratiga bog‘liqligini o‘rganish shuni ko‘rsatdiki, suspenziya har qanday bosimni kamaytirish va harorat sharoitida ham yaxshi filtrlanuvchanlik xususiyatiga ega. Bu esa ishlab chiqarish jarayonida uning samarali ajratilishi va keyingi texnologik bosqichlarga oson o‘tishini ta’minlaydi.

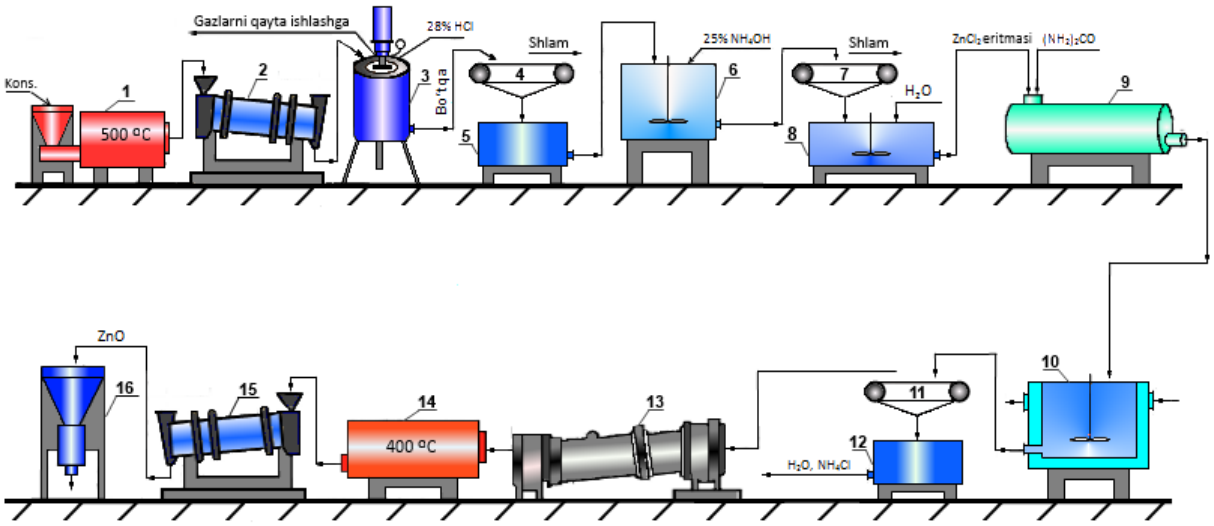
Filtrlash tezligi 20–60 °C harorat oralig‘ida va 300 mm simob ustuni bo‘yicha bosimni kamaytirishda suspenziya uchun 3278,40–3957,49 kg/m^2·soat ni tashkil qiladi.

Filtrlash jarayonida Bosimni kamaytirish darajasi va haroratning oshirilishi quyqa, filtrat va qattiq faza bo‘yicha filtrlash tezligini oshishiga olib keladi. Shunday qilib, kolbadagi bosimni kamaytirish darajasining 200 mm simob ustunidan 500 mm simob ustunigacha oshirilishi 20 °C haroratda pulpa bo‘yicha filtrlash tezligini 2742,06 kg/m^2·soatdan 4819,61 kg/m^2 soatgacha oshiradi. Olingan natijalar rux kontsentratidan rux oksidi nanozarrachalarini olish texnologik sxemasini ishlab chiqish uchun asos bo‘lib xizmat qiladi (7-rasm).

Texnologiyaning mohiyati tarkibida rux bo‘lgan konsentratlarni xlorid kislota eritmasi bilan kislotali parchalash, so‘ngra qattiq fazani ajratish, rux xlorid eritmasini olish, eritmani aralashmalardan tozalash, o‘ta yuqori chastotali nurlanish usuli bilan tozalangan rux xlorid eritmasini karbamid bilan konversiyalash, reaksion massani filtirlash, quritish so‘ngra kuydirish va rux oksidi nanozarrachalarini olishdan iborat.

Rux oksidining nanozarrachalarini olish jarayoni quyidagi bosqichlardan iborat:

- rudani flotatsiya usulida boyitish;
- rux konsentrati 500 °C da kuydirish;
- rux konsentrati yuqori bosimli avtoklavda 80 °C da xlorid kislotasi bilan parchalash;
- rux xlorid eritmasini olish va eritma tarkibidagi qo‘shimcha aralashmalardan tozalash;
- tozalangan rux xlorid eritmasi va karbamidning o‘zaro ta’siri orqali nanozarrachali rux oksidi olish;
- bo‘tqa sovutish va olingan mahsulotni filtrlash orqali ajratish;
- olingan mahsulotni quritish va kuydirish;
- tayyor mahsulotni qadoqlash.



6-Rasm. Rux konsentratidan nanozarrachali rux oksidi olishning texnologik sxemasi

1, 14 – kuydirish pechi, 2, 15 – barabanli sovutgich, 3 – avtoklav reaktori, 4, 7, 11 – filtrlar, 5, 12 – idishlar, 6, 8 – aralashtirgichli idishlar, 9 – O‘YuCh nurlatish qurilmasi, 10 – sovituvchi idish, 13 – barabanli quritgich, 16 – qadoqlash uskunasi.

Texnologik rejim me’yorlari aniqlangan, rux konsentratidan nanozarrachali rux oksidi olish ishlab chiqarishining moddiy oqimlar sxemasi va moddiy balansi tuzilgan.

Rux tutgan konsentrat kuydirish pechiga (1) yuboriladi va termik ishlovdan o‘tkaziladi. Termik ishlovdan chiqqan konsentrat (2) barabanli sovitgichda sovitiladi. Keyin, sovitilgan kontsentrat aralashtirgich, termometr va manometr bilan jihozlangan avtoklav reaktorga (3) yuboriladi, u yerda xlorid kislotasi yordamida kislotali parchalash amalga oshiriladi. Hosil bo‘lgan reaksion massa filtrga (4) yuboriladi, u yirda qattiq va suyuq fazalar bir-biridan ajratiladi. Filtrlangan rux xlorid eritmasi (5) idishda yig‘iladi va keyin aralashtirish idishiga (6) yuboriladi, u yerda temirdan tozalanadi. Xosil bo‘lgan suspenziya filtrga (7) yuboriladi. Tozalangan eritma O‘YuCh nurlatish qurilmasiga (9) yuboriladi. Hosil bo‘lgan mahsulot sovitishga (10) yuboriladi, sovitilgan mahsulot filtrga (11) o‘tkaziladi. Filtrdan o‘tgan eritma (12) idishga yo‘naltiriladi va undan keyin ammoniy xlorid eritmasi o‘g‘it sifatida omborga yuboriladi. Qattiq filtrat quritish (13) barabaniga yuboriladi. Quritilgan mahsulot esa kuydirish pechiga (14) yuboriladi. Hosil bo‘lgan mahsulot (15) barabanli sovutish qurulmasida sovutiladi va qadoqlash uskunasiga (16) yuboriladi.

Olib borilgan sinov tadqiqot natijalaridan ko‘rinadiki, Xondiza koni rudasidan olingan rux kontsentratidan nanozarrachali rux oksidi olish texnologiyasi sodda, maxsus qo‘shimcha jihozlarni talab etmaydi, energiya va resurs tejamkor texnologiya hisoblanadi.

O‘tkazilgan texnik-iqtisodiy hisob-kitoblar Xondiza koni rudasidan olingan rux kontsentratidan nanozarrachali rux oksidi ishlab chiqarishda yuqori iqtisodiy samaradorlikka ega ekanligini ko‘rsatdi. Bir tonna rux oksidi uchun iqtisodiy foyda

16,148 million so‘mni tashkil etadi. Agar 100 tonna mahsulot sotilsa, umumiy iqtisodiy foyda 1,614 milliard so‘mni tashkil qiladi.

XULOSA

Dissertatsiya ishini bajarish jarayonida quyidagi muhim ilmiy va amaliy natijalarga erishildi:

1. Xondiza konidan olingan polimetall rudalarni dastlabki mis va qo‘rg‘oshindan tozalamasdan flotatsiya usuli bilan boyitish orqali 4,95-5,15 % dan 40,50 % gacha to‘g‘ridan-to‘g‘ri boyitish mumkinligi aniqlandi.

2. Flotatsiya usuli bilan olingan rux konsentratidan ruxni avtoklavda tanlab eritish jarayonini o‘rganish orqali ruxni xlorid kislotaning 28 % li eritmasida ajratib olishning darajasi Zn:HCl = 1:1,5 nisbatda 75,45 % dan oshmasligi aniqlandi.

3. Rux kontsentratini dastlabki kuydirish jarayoni olib borilganda, ruxni xlorid kislota bilan ajratib olish darajasini oshirishi aniqlangan. Tanlab eritish jarayonining optimal texnologik parametrlari aniqlandi: rux kontsentratini 500 °C da kuydirish, so‘ngra Zn:HCl nisbati 1:1,1 bo‘lgan 28 % xlorid kislotasi yordamida avtoklavda tanlab eritish, jarayon harorati 80 °C, avtoklav bosimi 17 atm va reaksiya davomiyligi 10 soat. Shu sharoitda ruxni eritmaga o‘tish darajasi 90 % dan oshganligi o‘rganildi.

4. Rux xlorid eritmasini temirdan tozalash imkonini beruvchi pH qiymati 4,9 ga yetgunga qadar ammiakning 25 % li eritmasi berish aniqlandi. Bunda eritmaning temirdan tozalanish darajasi 98,33 % ga yetadi va uning tozalangan eritmadagi miqdori 0,01 % dan oshmaydi.

5. Tozalangan rux xloridi eritmasi va karbamidni o‘ta yuqori chastotali nurlanishdan foydalangan holda gidrotermal usul orqali nanozarrachali rux oksidi olish imkoniyati aniqlandi. Optimal sharoitlar $ZnCl_2$:$CO(NH_2)_2$ nisbatida 1:1, rux xloridi kontsentratsiyasi 7 %, karbamid miqdori 7 %, O‘YuCh nurlanish quvvati 800 Vt va jarayon davomiyligi 5 daqiqa. Shu sharoitda konversiya darajasi 85,93 % ni tashkil etadi.

6. Nanozarrachali rux oksidi olish uchun olingan $Zn_4CO_3(OH)_6 \cdot H_2O$+aq birikmasidan namlikni yo‘qotish maqsadida 100-110 °C haroratda quritish va shundan keyingina 400 °C haroratda kuydirish kerak.

7. Xonjiza koni rudasidan to‘g‘ridan-to‘g‘ri flotatsiya usuli bilan olingan konsentrati asosida nanozarrachali rux oksidi olishning texnologik sxemasi va moddiy balansi tuzildi. Texnologiya “Elektrokimyozavod” QK AJning tajriba-sanoat sharoitida sinovdan o‘tkazildi, natijada quyidagi tarkibdagi nanozarrachali rux oksidi olindi (mas. %): 99,62 - ZnO, 0,08 - PbO, 0,006 - boshqa elementlar.

8. Texnik-iqtisodiy hisoblar Xondiza koni rux saqlovchi rudasidan flotatsiya usuli bilan olingan rux konsentrati asosida nanozarrachali rux oksidi olish uchun ishlab chiqilgan texnologiya yuqori rentabellikga egaligini ko‘rsatadi. 1 tonna rux oksidi nanozarrachalarini sotishdan olingan iqtisodiy samara 16,148 million so‘mni tashkil etadi.

НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/2025.27.12.T.04.08 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ КАРАКАЛПАКСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

ТАШКЕНТСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

РАХИМКУЛОВ ШОКИР РИЗОЕВИЧ

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ОКСИДА ЦИНКА НА ОСНОВЕ МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ

02.00.13–Технология неорганических веществ и материалов на их основе

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ

Нукус – 2026

Тема диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Академии наук Республики Узбекистан под номером B2025.1.PhD/T5236.

Диссертация выполнена в Ташкентском химико-технологическом институте.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета (www.karsu.uz) и на информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу (www.ziyonet.uz.)

Научный руководитель:	**Самадий Муроджон Абдусалимзода** доктор технический наук, профессор
Официальные оппоненты:	**Сейтназаров Атаназар Рейпназарович** доктор технический наук, профессор
	Тураев Зокиржон доктор технический наук, профессор
Ведущая организация:	**Ферганский государственный технический университет**

Защита диссертации состоится «14» ноябрь 2026 года в «16^{00}» часов на заседании Научного совета DSc.03/2025.27.12.T.04.08 при Каракалпакском государственном университете по адресу: 230112, г. Нукус, ул. Академика Ч. Абдирова, 1. Тел.: (+99855) 105-60-48; факс: (+99855) 105-60-48; e-mail: karsu_info@edu.uz

С диссертацией можно ознокомиться в Информационно-ресурсном центре Каракалпакского государственного университета (зарегистрирован за № 613). Адресс: 230112, г. Нукус, ул. Академика Ч. Абдирова, 1. Тел.: (+99855) 105-60-48; факс: (+99855) 105-60-48.

Автореферат диссертации разослан «31» октябрь 2026 года
(реестр протокола рассылки № 6 «31» октябрь 2026 года).

А.М. Реймов
Председатель научного совета
по присуждению ученых степеней,
д.т.н., профессор, академик

S.A. Казахбаев
Ученый секретарь научного совета
по присуждению ученых степеней,
д.ф.т.н.,(PhD), доцент

Ш.Н. Туремуратов
Председатель научного семинара
при научном совете по присуждению
ученых степеней, д.х.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD)

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире в настоящее время уделяется большое внимание получению оксида цинка с полным использованием цинксодержащего сырья и внедрению безотходных технологий. Общий объем производства оксида цинка в мире составляет 10,5-11 млн тонн в год. В этом отношении соединения цинка, в частности, наноразмерный оксид цинка приобретает особое значение. Оксид цинка отличается уникальными физическими и химическими свойствами, что делает его потенциально универсальным материалом. Благодаря тому, что оксид цинка может существовать в одно-, двух- и трехмерных (3D) структурах, нанометрический оксид цинка может классифицироваться как новый материал с перспективой применения в различных областях. Широкий спектр применения оксида цинка включает газоанализ, солнечные батареи, производство резиновых изделий, полупроводниковые устройства, катализ, здравохранение, косметику, космические направления. В связи с этим разработка технологий получения наноразмерных частиц оксида цинка из местных сырьевых источников имеет большое значение.

В мире ведущие научные центры проводят обширные научно-исследовательские работы, направленные на разработку различных вариантов синтеза наноразмерных частиц оксида цинка, которые затрагивают различные отрасли экономики. В связи с этим, получение наноразмерного оксида цинка, использование наиболее приемлемого источника при выборе сырья, разложение цинксодержащего сырья соляной кислотой, очистка раствора хлорида цинка от примесей необходимо особое внимание уделить установлению технологических параметров получения наноразмерного оксида цинка с применением сверхвысокочастотного излучения для обработки раствора хлорида цинка с карбамидом.

В республике осуществляются широкомасштабные мероприятия по разработке технологий производства соединений цинка на основе местных сырьевых источников, что приводит к определенным научным и практическим результатам. В частности, можно выделить такие соединения цинка, как хлорид цинка, сульфат цинка, фосфат цинка и оксид цинка. В третьем направлении Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы определены такие важные задачи, как «…продолжение реализации промышленной политики, направленной на обеспечение стабильности национальной экономики, увеличение доли промышленности в валовом внутреннем продукте и роста объёма производства промышленной продукции в 1,4 раза…»[1]. В этом аспекте важное значение имеет разработка эффективных, экономически дешевых, экологически безопасных технологий переработки местных сырьевых источников с получением оксида цинка с наноразмерными частицами.

Данное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Постановлениях Президента Республики

[1]Указ Президента Республики Узбекистан УП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы»

Узбекистан № ПП-5159 от 24 июня 2021 года «О дополнительных мерах по развитию горно-металлургической промышленности и смежных отраслей», № ПП-4124 от 17 января 2019 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности предприятий горно-металлургического комплекса», № ПП-4731 от 26 мая 2020 года «О дополнительных мерах по расширению производства цветных и драгоценных металлов на базе месторождений АО «Алмалыкский ГМК» и в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы», а также выполнению задач, предусмотренных другими нормативными актами, относящимися к данной деятельности.

Соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий в республике VII - «Химические технологии и нанотехнологии».

Степень изученности проблемы. В научно-технической литературе широко освещаются научные исследования, направленные на переработку цинкосодержащего сырья в сульфат цинка, фосфат цинка и другие соединения. В этой области научные исследования проводились научными школами таких ведущих ученых, как M.A. Polyak, I.N. Lisichkin, V.S. Korolyov, Yu.Ya. Kaganovich, A. Bakin, A. El-Shaer, M.V. Garrido, M.C. Portillo, H. Juarez, X. Lou, Jahangiri Ali Reza, H.M. Lin, S.J. Tzeng, P.J. Hsiau, D.R. Fosnachtet, V. Van Der Pas, Mi Li, Pan Tsen-xuan и другие.

В Республике ведутся научно-исследовательские работы, направленные на разработку технологий переработки полиметаллических руд, медьсодержащих минералов, отходов производства цветных металлов в качестве вторичного сырья, на основе местных сырьевых ресурсов, которые отражены в работах Х.Т. Шарипова, З.Ч. Кадировой, Ш.Ш. Даминовой, А.А. Саидахмедова, Х.Р. Исматова, О.Ф. Ходжаева, И.И. Усманова и др.

Однако, несмотря на достигнутые определенные результаты отсутствуют сведения по разработкам производства наноразмерных оксидов металлов, в частности оксида цинка, из имеющихся в республике сырьевых источников, содержащих цинк.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ Ташкентского химико-технологического института и в рамках прикладного проекта А-12-31 - «Разработка технологии переработки низкосортных сильвинитов на хлорид калия флотационным методом» на 2015-2017 гг.; договора с ООО «Шуртанский газохимический комплекс» KM/6424 на тему «Комплексная переработка отработанного молекулярного сита (цеолита) предприятия ООО «Шуртанский газохимический комплекс» в оксид алюминия, нитрат калия и фосфат цинка» (2024-2026 гг.), а также в соотвествии с планом научно-исследовательских работ по теме «Разработка научных основ технологий переработки полиминеральных руд месторождения Хандиза» на 2020-2026 гг.

Целью исследования является разработка технологии получения наноразмерного оксида цинка из цинксодержащего сырья месторождения Хандиза.

Задачи исследования:

изучение химического и минералогического составов цинксодержащих полиметаллических руд месторождения Хандиза.

изучение процесса флотационного обогащения цинкосодержащей руды;

исследование влияния предварительной прокалки цинкового концентрата на фракционный, химический составы и технологические параметры получения хлористого цинка;

установление оптимальных технологических параметров получения очищенных растворов хлорида цинка;

исследование синтеза наночастиц оксида цинка с применением сверхвысокочастотного излучения;

установление оптимальных технологических параметров процесса синтеза наночастиц оксида цинка;

апробация технологии получения наночастиц оксида цинка;

разработка технологической схемы и материального баланса, выполнение технико-экономических расчетов целесообразности переработки концентрата цинксодержащей руды месторождения Хандиза на наноразмерный порошок оксида цинка.

Объектом исследования являются полиметаллическая руда, флотационно-обогащенный цинковый концентрат, соляная кислота, карбамид, гидрат гидроксида карбоната цинка.

Предметом исследования является технологические процессы кислотного разложения цинксодержащего сырья, очистки раствора хлорида цинка от сопутствующих примесей и получения наночастиц оксида цинка.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы химические, рентгенофлуоресцентный, атомно-абсорбционный, ИК-спектроскопический методы анализа и сканирующая электронная микроскопия.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

выявлены оптимальные технологические параметры прямого флотационного обогащения полиметаллической руды месторождения Хандиза;

установлена возможность повышения степени извлечения цинка из цинкового концентрата путем предварительной прокалки, с последующим автоклавным солиянкислотным выщелачиванием;

определены оптимальные технологические параметры процесса очистки растворов хлорида цинка от примесей;

впервые установлена возможность получения наноразмерного оксида цинка из смесей хлорида цинка и карбамида с применением сверхвысокочастотного излучения;

установлены оптимальные технологические параметры получения наночастиц оксида цинка из очищенных растворов хлорида цинка;

разработана технологическая схема переработки цинкового концентрата в порошок нанодисперсного оксида цинка.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

показана возможность прямого обогащения полиметаллической руды месторождения Хандиза флотационным методом с получением цинкового концентрата;

установлена возможность получения очищенных растворов хлористого цинка из цинкосодержащего концентрата;

обоснована возможность получения наноструктурированного оксида цинка синтезом из растворов хлористого цинка и карбамида с использованием сверхвысокочастотного излучения;

разработана научно-обоснованная, эффективная технология переработки цинкового концентрата на наноразмерный порошок оксида цинка.

Достоверность результатов исследования. Результаты химических и физико-химических исследований подтверждены при апробации разработанной технологии в опытно промышленных условиях.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в том, что она заложила основы для вовлечения полиметаллической руды месторождения Хандиза в производство важной для экономики страны импортозамещающей химической продукции - наноструктурированный порошок оксида цинка.

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработке технологии переработки полиметаллической руды месторождения Хандиза в наноструктурированный порошок оксида цинка и обеспечение потребностей республики в данной продукции.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов по разработке технологии переработки цинкового концентрата в наноразмерный оксид цинка:

технология прямого флотационного обогащения полиметаллической руды, технология автоклавного извлечения цинка из обогащенного флотационным методом цинкового концентрата путем предварительного обжига концентрата и очистки раствора хлорида цинка от примесей апробированы в опытно-промышленных условиях СП АО «Электрохимзавод» и включены в перечень перспективных, внедряемых разработок СП АО «Электрохимзавод» (Справка СП АО «Электрохимзавод» от 26 февраля 2026 г. № 12). В результате установлена возможность переработки обогащенного флотационным методом цинкового концентрата в очищенный раствор хлористого цинка для дальнейшей переработки;

технология переработки очищенного раствора хлористого цинка в наноразмерный оксид цинка путем конверсии его в смеси с карбамидом с применением свервысокочастотного излучения апробирована в опытно-промышленных условиях СП АО «Электрохимзавод» и включена в перечень перспективных, внедряемых разработок СП АО «Электрохимзавод» (Справка СП АО «Электрохимзавод» от 26 февраля 2026 г. № 12). В результате

установлена возможность организации производства наноразмерного оксида цинка.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований были доложены и обсуждены на 2 международных и 6 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 14 научных работ. Из них 6 научные статьи, в том числе 3 в республиканских и 3 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 147 наименований и приложения. Объем диссертации составляет 106 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность диссертационной работы, сформулированы цель, задачи исследования, характеризуются объекты и предметы исследования, показано соответствие диссертации приоритетным направлениям развития науки и технологий в Республике, излагаются научная новизна и практические результаты работы, приведены сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе **«Современное состояние в области получения оксида цинка»**, являющейся литературным обзором, приводятся сведения, характеризующие оксид цинка, области его применения, о спросе и масштабах производства, критически рассматриваются материалы научно-исследовательских работ о способах его получения. На основе анализа литературного материала сформулированы цель и задачи исследования.

Вторая глава **«Характеристика исходных, промежуточных и конечных продуктов»** посвящена объектам исследования, методам проведения экспериментов, методикам химических анализов и физико-химическим методам исследований. В данной главе подробно описаны использованное сырье, полученные промежуточные и конечные продукты, а также экспериментальные и аналитические методы, использованные в процессе их изучения.

Третья глава «**Исследование процесса получения наноразмерного оксида цинка**» посвящена исследованиям переработки цинксодержащего сырья месторождения Хандиза автоклавным выщелачиванием цинка соляной кислотой с последующей переработкой хлорида цинка на наноструктурированный порошок оксида цинка.

Для этого были отобраны образцы руды. Согласно данным рентгенофлуорисцентного исследования, в цинковой руде содержится 25 % и более кремния, 5 % и более цинка, около 3,4 % железа, до 1 % процента меди.

Предварительные исследования по автоклавному извлечению цинка из руды 28 % соляной кислотой показали, что продукт выщелачивания

практически не не расслаивается и не фильтруется. Поэтому дальнейшие исследования были нправлены на прямое обогащение руды флотационным методом.

Исследования проводили на модельной, лабораторной установке, включающей дробилку, шаровую мельницу, магнитный сепаратор, набор сит, емкость для промывки руды, сушильный шкаф и флотомашину.

В данном разделе диссертации проанализирован процесс получения цинкового концентрата флотацией полиметаллических минералов месторождения Хондиза и подробно освещены этапы подготовки руды, депрессии сопутствующих минералов, активации сфалерита, выбора коллектора и пенообразователя. Научно обоснованы соотношения используемых флотореагентов и их влияние на выход концентрата.

Для депрессии сопровождающих минералов использовали сульфат цинка ($ZnSO_4$) и жидкое стекло. Эти реагенты сначала выводят пирит и медные минералы флотацией. Затем они депрессируют сфалерит, что позволяет в последующем обратной флотацией активировать его.

Наиболее важной операцией при подготовке сфалерита к следующей обратной флотации является его активация. Для этого применяли сульфат меди $CuSO_4$ и бариевый сульфат $BaSO_4$. В ходе флотации при добавлении в качестве активатора $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ или $BaSO_4$ наблюдалось повышение гидрофобности ZnS и увеличение его содержания в концентрате.

Для сульфидизации использовали сульфиды натрия и аммония, переводя ZnO и $ZnCO_3$ в форму ZnS.

Олеат натрия использовали для повышения гидрофобности. Под его действием энергия поверхности снижается и частицы лучше прилипают к пузырькам воздуха.

Для получения стабильности пены применяли метилизобутилкарбинол и олеат натрия, что позволило получать мелкие и устойчивые пузырьки, обеспечивая подъем частиц цинкового минерала на поверхность.

Таблица 1

Реагенты, применяемые при флотации цинковой руды, их функции и дозировки

№	Реагенты	Функция в процессе	Механизм действия	Дозировка, г/кг
1	CaO, NaOH	Регулирует pH среды пульпы	Обеспечивается щелочная среда с pH 8,0–10,0	0,5-2,0
2	Жидкое стекло, $ZnSO_4$	Депрессор для пирита	Делает соединения железа гидрофильными	0,2-1,0
3	$CuSO_4$, $BaSO_4$	Активирует соединения цинка	Обеспечивает перенос ионов Zn^{2+} на ZnS	0,050-0,30
4	Na_2S, NH_4HS	Выполняет функцию сульфидизатора	Превращает ZnO в ZnS в руде	0,10–1,50
5	Олеиновая кислота, Натрий олеат	Выполняет функцию коллектора	Придаёт соединениям цинка гидрофобные свойства	0,2-0,4
6	Керосин, Метилизобутил карбинол	Пенообразователь	Снижает поверхностную активность пульпы	0,010–0,050

В ходе флотации гидрофобные частицы переходят в пену, а гидрофильные остаются в камерном остатке. Получеиные результаты влияния флотационных добавок приведены в таблице 2.

Таблице 2

Результаты исследования влияния депрессоров, коллекторов и пенообразователей на эффективность процесса флотации

№	Флотореагенты		Концентрат		Содержание остаточных минералов, %					
	Название	Количество, г/л	Цинковый минерал	Другие попутные минералы	Цинковые минералы	Кремниевые растворы	Соединения железа	Свинцовые минералы	Минералы меди	Другие соединения металлов
Депрессоры	Жидкое стекло	0,1	52,20	5,29	8,23	28,05	1,48	1,87	0,82	2,06
		0,2	52,90	5,31	7,66	28,06	1,47	1,76	0,80	2,04
		0,3	52,95	5,39	7,54	28,07	1,48	1,81	0,78	1,98
	$ZnSO_4$	0,1	53,05	5,31	7,31	28,04	1,47	1,91	0,81	2,10
		0,2	53,35	5,34	7,12	28,07	1,44	1,89	0,79	2,00
		0,3	53,40	5,35	7,08	28,04	1,47	1,87	0,80	1,99
Коллекторы	Олеиновая кислота	0,2	52,80	5,31	7,58	28,05	1,51	1,83	0,81	2,11
		0,3	52,85	5,33	7,52	28,05	1,49	1,84	0,80	2,00
		0,4	52,95	5,34	7,48	28,04	1,51	1,85	0,82	2,01
	Олеат натрия	0,2	53,20	5,36	7,23	28,07	1,45	1,89	0,82	1,98
		0,3	53,30	5,39	7,13	28,04	1,43	1,85	0,79	2,07
		0,4	53,40	5,40	7,03	28,05	1,41	1,84	0,76	2,11
Пенообразователи	Керосин	0,02	52,50	5,32	7,98	28,04	1,45	1,86	0,82	2,03
		0,03	52,60	5,36	7,83	28,05	1,43	1,84	0,82	2,07
		0,04	52,70	5,30	7,73	28,03	1,48	1,89	0,84	2,03
	Метилизобутилкарбинол	0,02	54,20	5,48	6,23	28,04	1,44	1,85	0,79	1,97
		0,03	54,35	5,43	6,13	28,03	1,42	1,85	0,78	1,99
		0,04	54,40	5,44	6,02	28,05	1,48	1,84	0,78	1,99

Исследования показывают, что при обогащении цинковых руд флотационным методом наиболее важным фактором является режим реагентов и их взаимное влияние. Эффективная активация сфалерита, сульфидизация окисленных минералов и оптимальный режим пены обеспечивают получение высококачественного концентрата.

По результатам проведённых флотационных исследований сделан вывод, что сульфат цинка является наиболее оптимальным депрессором для подавления сопутствующих минералов в составе сфалеритовой руды месторождения Хандиза. Коллектор натрий олеат и пенообразователь Метилизобутилкарбинол обеспечили высокую эффективность процесса.

Образцы цинкового концентрата, полученного флотационным методом изучены с применением химических и физико-химических методов. Цинковый концентрат содержит 39,45-40,50 % цинка, 13,00-13,50 % кремния, 1,60-1,65 % железа.

Проведённые исследования при мольным соотношении Zn:HCl=1:1,1 и концентрации кислоты 28 % степень излечения цинка из концентрата в

раствор не превышает 68,45 %, что приводит к потере до 30 % цинка с осадком.

Увеличение мольного соотношения Zn:HCl до 1,5 повышает степень извлечения цинка до 75 %, что также недостаточно. Поэтому продолжили исследования по извлечению цинка из цинкового концентрата по ранее разработанной нами технологии с предварительной прокалкой цинкового концентрата. Согласна техническому решению для повышения степени извлечения цинка необходима предварительная прокалка цинкового концентрата и последующее автоклавное выщелачивание 27-28 % соляной кислотой.

Степень извлечения 75 %, очень низкая для использования извлечения цинка в промышленных условиях. Для установления оптимальных технологических параметров максимальной степени извлечения цинка из цинкового концентрата изучено влияние температуры прокалки концентрата, соотношения Zn:HCl, продолжительности процесса автоклавного выщелачивания 28 % соляной кислотой.

На рисунке 1. Приведены данные влияния температуры прокалки цинкового концентрата на степень извлечения цинка 28 % соляной кислотой при температуре извлечения 80 °С и продолжительности процесса выщелачивания 10 часов.

Из рисунка видно, что с повышением температуры с 300 °С до 500 °С степень извлечения цинка из прокаленного концентрата повышается с 75,64 % до 90,05 %. Дальнейшее повышение температуры прокалки практически не влияет на степень извлечения цинка и составляет 90,13 % при температуре прокалки 600 °С.

Исследования влияния соотношения Zn:HCl на степень извлечения цинка из прокаленного при 600 °С концентрата 28 % соляной кислотой при 80 °С и продолжительности процесса выщелачивания 10 часов показали, что соотношение Zn:HCl не оказывает существенного влияния на степень извлечения цинка (рис. 2).

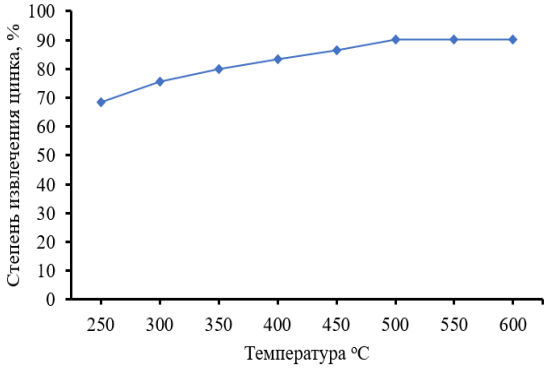


Рис. 1. Влиянием процесса прокалки цинкового концентрата на степень извлечения цинка

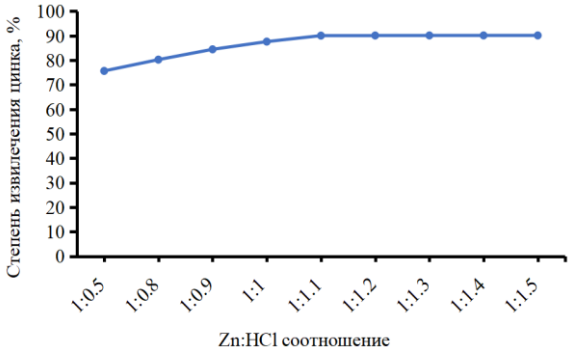


Рис. 2. Влияние соотношения Zn:HCl на степень автоклавного извлечения цинка из концентрата, прокаленного при 500 °С

Так, при соотношении Zn:HCl= 1:0,8 степень извлечения цинка составляет 80,25 %, при соотношении 1:1,1 достигает 90,05 % и практически не изменяется до соотношения Zn:HCl= 1:1,5.

Влияние продолжительности извлечения цинка из прокаленного при 500 °С изучали при температуре 80 °С и концентрации кислоты 28 % (рис. 3).

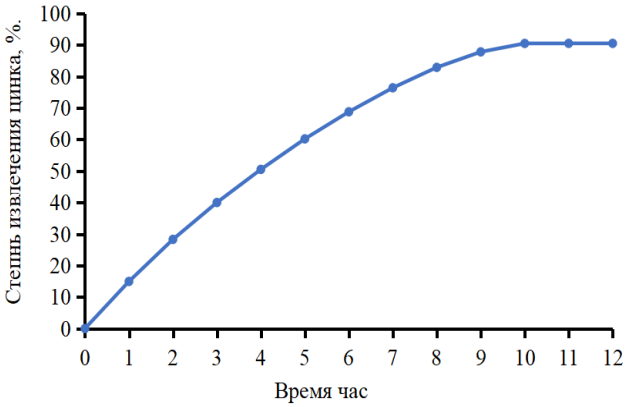


Рис. 3. Влияние продолжительности процесса выщелачивания цинка из прокаленного при 500 °С цинкового концентрата

По мере увеличения продолжительности процесса извлечения степень извлечения цинка повышается и достигает 60,18 % через 5 часов, 90,48 % через 10 часов и не изменяется после 10 часов выщелачивания. Проведенные исследования по выщелачиванию цинка из прокаленного концентрата показали возможность извлечения более 90 % цинка из прокаленного при 500 °С концентрата.

Оптимальными технологическими параметрами являются концентрация соляной кислоты 28 %, температура 80 °С, соотношение Zn:HCl= 1:1,1 и продолжительность процесса автоклавного выщелачивания 10 часов. При этом степень извлечения цинка составляет более 90 %. Содержание цинка в растворе составляет 15,34 %, железа 0,7 %, а содержание других примесей составляет десятитысячные доли процента.

Полученные растворы хлорида цинка содержат 0,367-0,637 % железа и поэтому растворы подвергли процессу очистки от железа, который осуществлялся с использованием раствора аммиака. Содержания других компонентов в жидкой фазе составляет десятитысячные доли процента при полном отсутствии кремния.

Метод заключается в осаждении железа при pH 4-4,5 При этом цинк до pH 5 не осаждается и находится в растворе.

Трехвалентное железо взаимодействует с гидроксидом аммония при pH 4-4,5, образуя гидроксид железа по следующей реакции:

$$FeCl_3+3NH_4OH \rightarrow Fe(OH)_3+3NH_4Cl$$

При этом цинк остается в растворе и начинает осаждаться при pH более 5.

Образующийся гидроксид железа имеет гелеобразную структуру и плохо фильтруется. Для улучшения фильтруемости пульпу выдерживали в течение 1 часа. При этом происходит укрупнение частиц осадка и улучшается скорость фильтрации.

После выдержки пульпы ее фильтровали. Фильтрат содержит хлористый цинк, хлористый аммоний и аммиачные комплексы цинка. Осадок в основном содержит гидроксид железа.

Для цинка характерно образование комплексных соединений по реакции:

$$Zn^{+2}+4NH_4OH \rightarrow [Zn(NH_3)_4](OH)_2+4H_2O$$

что обеспечивает сохранение цинка в растворимой форме при осаждении железа.

В результате получается очищенный от железа раствор, содержащий хлористый цинк и хлористый аммоний. Повышение pH приводит к образованию гидроксида цинка и далее аминного комплекса.

Для получения очищенного раствора хлористого цинка 100 г жидкой фазы, содержащей 15,35 % цинка, 0,69 % железа, 5,66 % соляной кислоты и 23,27 % ионов хлора обработали 26,9 г 25 % раствора аммиака (pH 4,9). При этом, после выдерживания в течение 60 минут, в осадок выпал гидроксид железа в количестве 1,45 г. Раствор содержит 32,3 г хлористого цинка и 8,35 г хлористого аммония, что соответствует раствору с содержанием 25,75 % хлористого цинка и 6,65 % хлористого аммония.

Для изучения влияния массового соотношения $ZnCl_2$:$CO(NH_2)_2$ на размер наночастиц оксида цинка были приготовлены растворы содержащие по 5-15 % хлористого цинка и карбамида с соотношением $ZnCl_2$:$CO(NH_2)_2$ = 1:1. Полученную смесь облучали в печи свервысокочастотным излучением в течение 5 минут. Результаты, полученные в ходе эксперимента, представлены в таблице 3.

Таблица 3

Влияние соотношения $ZnCl_2$ и $CO(NH_2)_2$ на степень конверции

№ Опыта	$ZnCl_2$, %	$CO(NH_2)_2$, %	Степень конверсии, %
1	5	5	84,61
2	6	6	85,32
3	**7**	**7**	**85,93**
4	8	8	75,56
5	10	10	83,76
6	12	12	76,51
7	14	14	73,85
8	15	15	71,70

Из таблицы следует, что при содержании в растворе 5 % $ZnCl_2$ и 5 % $CO(NH_2)_2$ степень конверсии достигает 84,61 %. При содержании хлорида цинка 7 % и количестве карбамида 7 % в растворе наблюдается рост степени конверсии. В этом случае степень конверсии составляет 85,93 %. Содержании в растворе хлорида цинка 15 % и карбамида 15 % приводит к снижению степени конверсии до 71,70 %.

Изучен процесс синтеза наночастиц оксида цинка для определения количества карбамида, способствующего максимальной степени конверсии. Приготовлены растворы, содержащие смесь 7 % хлоритого цинка и карбамида в возрастающих количествах от 2 % до 20 % (табл. 4). Оптимальными условиями является соотношение $ZnCl_2$:$CO(NH_2)_2$ = 1:1 при содержании в растворе по 7 % компонентов, что обеспечивает максимальную степень конверсии.

С целью определения влияния сверхвысокочастотного излучения на процесс конверсии из смеси растворов, содержащих 7 % хлорида цинка и 7 % карбамида было изучено влияние продолжительности обработки.

Таблица 4

Влияние содержания карбамида на степень конверсии при обработке свервысокочастотным излучением 7 % - ного раствора хлористого цинка

№ опыта	$ZnCl_2$, %	$CO(NH_2)_2$, %	Степень конверсии, %
1	7	2	56,20
2	7	3	70,10
3	7	5	85,93
4	**7**	**7**	**85,93**
5	7	9	85,59
6	7	11	85,02
7	7	13	84,35
8	7	15	83,56
9	7	17	82,74
10	7	20	81,95

Процесс обработки смеси растворов длился от 1 до 10 минут. Результаты, полученные в ходе исследования, представлены в таблице 5.

Таблица 5

Влияние времени сверхвысокочастотной обработки на степень конверсии смеси 7 % - ного растворо хлористого цинка и карбамида

№ опыта	Время, мин	$ZnCl_2$, %	$CO(NH_2)_2$, %	Степень конверсии, %
1	1	7	7	59,10
2	3	7	7	75,00
3	**5**	**7**	**7**	**85,93**
4	7	7	7	85,94
5	8	7	7	85,94
6	9	7	7	85,96
7	10	7	7	85,98

Из таблицы видно, что при увеличении продолжительности обработки раствора $ZnCl_2$ и $CO(NH_2)_2$ сверхвысокочастотным излучением от 1 до 5 минут степень конверсии повышается с 59,10 % до 85,93 % и в дальнейшем практически не изменяется, достигая значения 85,98 % через 10 минут обработки. Данные показывают, что оптимальное время обработки раствора 7 % $ZnCl_2$ и 7 % $CO(NH_2)_2$ с помощью высокочастотного излучения составляет пять-семь минут, а степень конверсии составляет 85,93-85,94 %.

При изучении влияния температуры прокалки осадка $Zn_4CO_3(OH)_6 \cdot H_2O$+aq на формирование наночастиц оксида цинка установлено, что прокалка осадка без предварительной сушки и удаления аклюзированной влаги не позволяет получать мелкокристаллический ZnO, так как содержащаяся влага, при высокой температуре, приводит к образованию липкой массы и пристаёт к стенкам реактора. Поэтому осадок предварительно подвергали сушке до постоянного веса при температуре в сушильном шкафу 100-150 °С. Оптимальной температурой сушки является температура 120-130 °С.

Для установления оптимальной температуры прокалки высушенного соединения изучено влияние температуры от 300 °С до 600 °С (табл. 6).

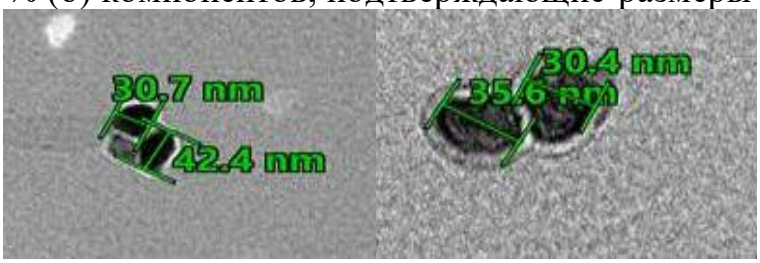
Таблица 6

Влияние температуры прокалки на степень конверсии осадка после сушки

№ опыта	Температура, °С	$ZnCl_2$, %	$CO(NH_2)_2$, %	Zn, %	ZnO, %	Степень конверсии, %	Размер частиц, нм
1	300	7	7	77,38	96,41	81,80	51,5-78,9
2	350	7	7	78,40	97,60	83,61	36,4-40,7
3	**400**	**7**	**7**	**80,03**	**99,62**	**85,93**	**30,4-35,6**
4	450	7	7	80,04	99,64	85,97	30,3-34,9
5	500	**7**	**7**	80,05	99,67	86,00	30,7-35,3
6	550	7	7	80,06	99,69	86,10	30,1-34,8
7	600	7	7	80,07	99,70	86,11	30,3-35,2

Повышение температуры прокалки приводит к снижению размера частиц ZnO с 51,5-78,9 нм, при температуре прокалки 300 °С, до 30,4-35,6 нм при температуре 400 °С и практически не изменяется до температуры 600 °С. Полученные результаты указывают, что предварительная сушка осадка позволяет получить наноразмерные частицы с размером 30,4-35,6 нм при температуре прокалки 400 °С.

На рисунке 4 приведены микрофотографии наночастиц оксида цинка, которые были получены из растворов хлорида цинка и карбамида на основе цинкового концентрата месторождения Хандиза, содержащих по 5 % (а) и 7 % (б) компонентов, подтверждающие размеры частиц оксида цинка.



а б

Рис. 4. Микрофотографии наночастиц оксида цинка

Полученные результаты позволяют предположить механизм процесса сверхвысокочастотного облучения растворов хлористого цинка и карбамида с образованием наноразмерных частиц оксида цинка.

Под действием сверхвысокочастотного излучения температура раствора повышается свыше 90 °С и протекает процесс разложения карбамида по реакции:

$$CO(NH_2)_2+2H_2O \xrightarrow{t,\ °C} CO_2+2NH_3+H_2O$$

при этом pH раствора повышается в результате поглощения аммиака с образованием гидроксида аммония и выделяется диоксид углерода. Хлористый цинк взаимодействует с гидроксидом аммония и образуются гидроксид цинка и хлористый аммоний по реакции:

$$ZnCl_2+2NH_4OH \xrightarrow{t,\ °C} Zn(OH)_2+2NH_4Cl$$

образующийся гидроксид цинка, взаимодействуя с выделяющимся диоксидом углерода, образует гидрат гидроксида карбоната цинка по реакции:

$$4Zn(OH)_2+CO_2+aq \xrightarrow{t,\ ^\circ C} Zn_4CO_3(OH)_6\cdot H_2O+aq$$

в процессе сушки и последующей прокалке гидрат гидроксида карбоната цинка разлагается по реакции:

$$Zn_4CO_3(OH)_6\cdot H_2O \xrightarrow{400\ ^\circ C} 4ZnO+\uparrow CO_2+\uparrow 4H_2O$$

с обрзованием наноразмерных частиц оксида цинка.

Образующийся в процессе синтеза оксида цинка раствор хлористого аммония является ценным удобрением при выращивании риса.

Для получения информации о природе наночастиц были измерены рентгенодифракционные картины наночастиц ZnO, полученные с помощью гидротермального процесса с использованием сверхвысокочастотного излучения. Для этого были отобраны образцы наночастиц оксида цинка при оптимальных условиях синтеза ZnO и прокаленные при температурах 300, 400 и 500 °C, для которых на рисунке 5 приведены результаты рентгеновской дифракции, где а - для непрокаленного ZnO, б - для температуры 300 °C, в - для температуры 400 °C и г – для температуры прокалки 500 °C.

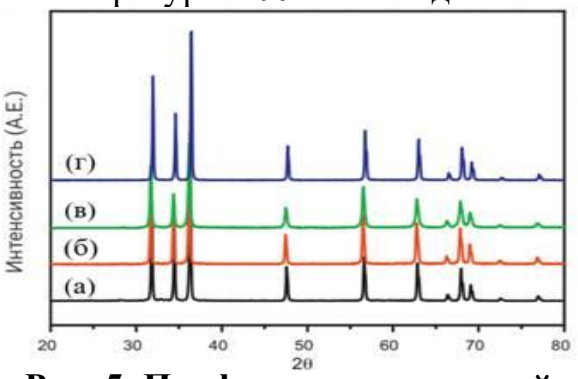


Рис. 5. Профили рентгеновской дифракции (а) свежеприготовленного ZnO, прокалнного при (б) 300, (в) 400 и (г) 500 °C

Пики при 2θ = 31,8, 34,4, 36,3, 47,5 56,6, 62,8 и 67,9 соответствуют для частиц ZnO до прокалки. Эти пики соответствуют дифракционным плоскостям (100), (002), (101), (102), (110), (103) и (112), соответственно. Результаты показали, что в образцах, полученных при 300 °C, 400 °C и 500 °C не наблюдается никаких примесей.

С другой стороны, на рентгенограмме для исходного образце ZnO были выявлены незначительные пики, соответствующие гидрату гидрокарбоната цинка в диапазоне 2θ между 31.8 и 34.48, что указывает на то, что чистый ZnO не может быть получен гидротермальным методом с помощью микроволн из смеси хлориа цинка и карбамида.

При высокотемпературном обжиге хорошо кристаллизованного ZnO далее получают наночастичный оксид цинка.

Физико-химические исследования проводили с образцами наночастиц оксида цинка, полученного при оптимальных условиях и содержащего 99,62 % ZnO, 0,08 % PвO, 0,006 % н.о. Элементный анализ показал содержание цинка 80,05 % и кислорода 19,59 %, что практически соответствует их содержанию в оксиде цинка.

На рентгенограмме имются дифракционные максимумы при 2,81, 2,47, 1,47, 1,40 Å, характерные для оксида цинка.

Четвертая глава **«Исследование технологических показателей процесса получения наночастицы оксида цинка»** посвящена изучению степени осветления и фильтру мости суспензии оксида цинка, апробации разработанной технологии получение наночастиц оксида цинка, разработке технологической схемы, составлению схемы материальных потоков,

материального баланса, проведению предварительных технико-экономических расчетов.

Исследования по изучению степени осветления суспензии показали быстрое осаждение осадка оксида цинка. Через 230 с степень осветления суспензии составляет 10,6 %, а через 710 с 22,8 % при максимальной степени осветления 25,3 % через 1804 и 2000 с. При этом объем осадка составляет 74,7 %, что технологически не приемлемо (рис.6).

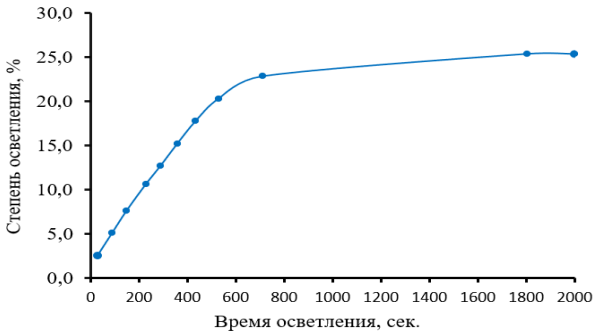


Рис. 6. Степень осветления суспензии, образующейся после конверсии

Изучение зависимости скорости фильтрации суспензии от давления и температуры процесса показало, что суспензия обладает хорошей фильтруемостью при любых давлениях и температурах. Это обеспечивает его эффективное разделение в процессе производства и легкий переход к последующим технологическим этапам.

Скорость фильтрации для суспензии составляет 3278,40–3957,49 кг/м^2·ч при разряжении 300 мм рт. ст. в интервале темератур 20-60 °С.

Увеличение разрежения и температуры процесса фильтрации приводят к повышению скорости фильтрации по пульпе, фильтрату и твердой фазе. Так, повышение разрежения в колбе с 200 мм рт. ст. до 500 мм рт. ст., при температуре 20 °С, увеличивает скорость фильтрации по пульпе с 2742,06 кг/м^2·ч до 4819,61 кг/м^2 ч. Полученные результаты послужили основой для разработки технологической схемы получения наночастиц оксида цинка из цинкового концентрата (рис. 7).

Сущность технологии заключается в кислотном разложении цинксодержащих концентратов раствором соляной кислоты с последующим разделением твердой фазы, получением раствора хлорида цинка, очисткой раствора от примесей, конверсией очищенного раствора хлорида цинка, методом сверхвысокочастотного облучения карбамидом, фильтрацией реакционной массы, сушкой с последующей прокалкой и получением наночастиц оксида цинка.

Процесс получения наночастиц оксида цинка состоит из следующих стадий:

- флотационного обогащения руды;
- прокалка цинкового концентрата при 500 °С;
- соляно кислотное разложение цинкового концентрата в автоклаве высокого давления при t = 80 °С;
- получение раствора хлорида цинка и его очистка от дополнительных примесей;
- получение оксида цинка обработкой очищенного раствора хлористого цинка и карбамида высокочастотным изучением;
- охлаждение пульпы и фильтрация полученного продукта;
- сушка полученного продукта с последующей прокалкой;
- упаковка готового продукта.

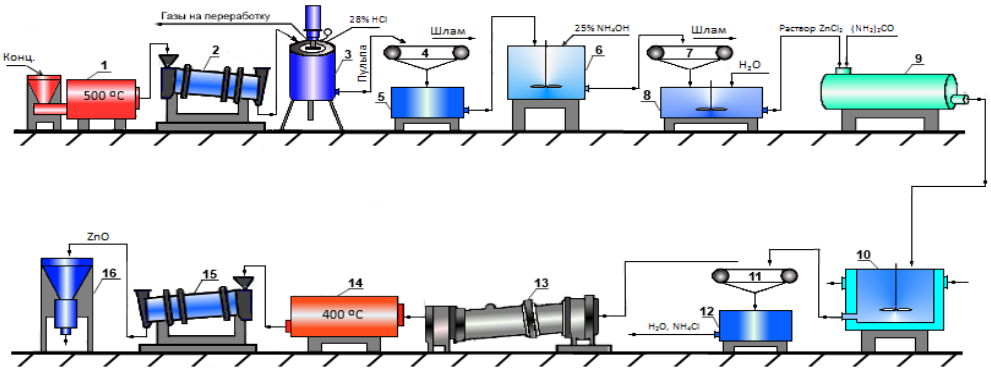


Рис. 7. Технологическая схема опытной установки по переработке цинкового концентрата на наноразмерный оксид цинка

1, 14 – печь прокаливания, 2, 15 – охлаждающий барабан, 3 – автоклавный реактор, 4, 7, 11 – фильтры, 5, 12 – емкости, 6, 8 – емкость-смеситель, 9 – аппарат СВЧ облучения, 10 – охлаждающий емкость, 13 – сушильный барабан, 16 – упаковочная машина.

Установлены нормы технологического режима, составлена схема материальных потоков и материальный баланс производства наночастиц оксида цинка из цинкового концентрата.

Цинкосодержащий концентрат направляется в печь для обжига (поз. 1) и подвергается термической обработке. Концентрат после термической обработки охлаждается в охлаждающем барабане (поз. 2). Далее охлажденный концентрат направляется в автоклавный реактор (поз. 3), оборудованный смесителем, термометром и манометром, где проводится кислотное разложение с использованием соляной кислоты. Полученная реакционная масса направляется на фильтр (поз. 4), где происходит разделение твердой и жидкой фаз. Отфильтрованный раствор хлорида цинка собирается в контейнер (поз. 5) и далее направляется в смесительный резервуар (поз. 6), где происходит очистка от железа. Образующаяся суспензия направляется на фильтр (поз. 7). Очищенный раствор направляется в аппарат СВЧ облучения (поз. 9). Полученная пульпа подается на охлаждение в кристаллизатор (поз. 10) и далее на фильтр (поз. 11). Отфильтрованный раствор поступает в емость (поз. 12) и затем в виде хлорида аммония отправляется на склад в качестве удобрения. Твердый осадок направляется в сушильный барабан (поз. 13). Высушенный продукт подается в печь для обжига (поз. 14). Полученный продукт охлаждается в охлаждающем барабане (поз. 15) и подается на упаковочную машину (поз. 16).

Результаты проведенных испытаний показывают, что технология получения наночастичного оксида цинка из цинкового концентрата, полученного из руды месторождения Хандиза, проста, не требует специального дополнительного оборудования, является энерго и ресурсосберегающей технологией.

Проведенные технико-экономические расчеты показали высокую экономическую эффективность при производстве наночастичного оксида

цинка из цинкового концентрата, полученного из руды Хандизинского месторождения. Экономическая выгода от производства одной тонны оксида цинка составляет 16,148 млн. сумов. При продаже 100 тонн продукции общая экономическая выгода составит 1,614 млрд. сумов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения диссертационной работы были достигнуты следующие научные и практичные результаты:

1. Флотационным обогащением полиметаллической руды месторождения Хандиза установлена возможность прямого обогащения бес предварительного отделения меди и свинца с 4,95-5,15 % до 40,50 %.

2. Изучением процесса автоклавного выщелачивания цинка из цинкового концентрата, полученного прямым флотационным методом, установлена низкая степень извлечения цинка в 28 % растворе соляной кислоты, которая при соотношении Zn:HCl = 1:1,5 не превышает 75,45 %.

3. Установлено, что предварительная прокалка цинкового концентрата повышает степень извлечения цинка соляной кислотой. Выявлены оптимальные технологические параметры процесса выщелачивания: прокалка цинкового концентрата при 500 °С, автоклавное выщелачивание 28 % соляной кислотой при соотношении Zn:HCl = 1:1,1, температура 80 °С, давление в автоклаве 17 атм и продолжительность процесса 10 часов. При этом степень извлечения цинка в раствор превышает 90 %.

4. Установлено, что до достижения значения pH 4,9, позволяющего очистить раствор хлорида цинка от железа, вводится 25 % - ного раствор аммиака. При этом степень очистки раствора от железа достигает 98,33 %, а его содержание в очищенном растворе не превышает 0,01 %.

5. Установлена возможность получения наноразмерного оксида цинка гидротермальным методом из очищенного раствора хлорида цинка и карбамида с использованием сверхвысокочастотного излучения. Оптимальными условиями являются соотношение $ZnCl_2$:$CO(NH_2)_2$ = 1:1, концентрации хлорида цинка 7 % и карбомида 7 %, при мощности СВЧ излучения 800 Вт, и продолжительность процесса 5 минут. Степень конверсии при этом составляет 85,93 %.

6. Для получения нанодисперсного оксида цинка из полученного соединения $Zn_4CO_3(OH)_6 \cdot H_2O$+aq его необходимо подвергать сушке при температуре 100-110 °С для удаления влаги и только после этого прокаливать при температуре 400 °С.

7. Составлена технологическая схема и материальный баланс получения наночастичного оксида цинка на основе цинкового концентрата, полученного путем прямой флотации из руды месторождения Хандиза. Технология апробирована в опытно-промышленных условиях СП АО “Электрохимзавод” в результате чего получен наноразмерного оксида цинка следующего состава (масс. %): 99,62 - ZnO, 0,08 - PbO, 0,006 - прочие элементы.

8. Технико-экономические расчеты показывают высокую рентабельность разработанной технологии получения наночастичного оксида цинка на основе флотационого цинкового концентрата из руды месторождения Хандиза. Экономический эффект от реализации 1 тонны наночастиц оксида цинка составляет 16,148 млн. сумов.

SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING OF SCIENTIFIC DEGREES DSc.03/2025.27.12.T.04.08 AT KARAKALPAK STATE UNIVERSITI

TASHKENT CHEMICAL TECHNOLOGICAL INSTITUTE

RAKHIMKULOV SHOKIR RIZOYEVICH

DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY FOR PRODUCING ZINC OXIDE BASED ON LOCAL RAW MATERIAL SOURCES

02.00.13 – Technology of inorganic substances and materials on their basis

DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) ON TECHNICAL SCIENCES

Nukus– 2026

The topic of the dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) has been registered with the Higher Attestation Commission under the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan under number B2025.1.PhD/T5236.

The dissertation work was carried out at the Tashkent Chemical Technological Institute.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the Scientific Council (www.karsu.uz) and on the website of "ZiyoNet" information and educational portal (www.ziyonet.uz).

Research supervisors:	**Samadiy Murodjon Abdusalimzoda** doctor of technical sciences, professor
Official opponents:	**Seitnazarov Atanazar Reipnazarovich** doctor of technical sciences, professor
	Turaev Zokirjon doctor of technical sciences, professor
Leading organization:	**Fergana State Technical University**

The defense of the thesis will take place "14" november 2026 at 16^{00} hours at a meeting of the DSc Scientific Council DSc.03/2025.27.12.T.04.08 at Karakalpak State Universiti at the address: 230112, Nukus ctiy, Academician Ch. Abdirov street, 1. Tel.: (+99855) 105-60-48; fax: (+99855) 105-60-48; e-mail: karsu_info@edu.uz.

The dissertation can be found at the information and resourse center of the Karakalpak State University (registered under No 613). Address: 230112, Nukus ctiy, Academician Ch.Abdirov street, 1. Tel.: (+99855) 105-60-48 fax: (+99855) 105-60-48.

The abstract of the dissertation was send out "31" october 2026.
(register of the mailing protocol № 6 "31" october 2026)

Reymov A.M.
Chairman of the academic council for awarding academic degrees, doctor of technical sciences, professor, academician

Kazakhbaev S.A.
Secretary of the academic council, doctor of philosophy in technical sciences

Turemuratov Sh.N.
Chairman of the scientific seminar under the scientific council for awarding scientific degrees, doctor of chemical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research is the development of a technology for producing nanosized zinc oxide from zinc-containing raw materials from the Khandiza deposit.

The object of the study is polymetallic ore, flotation-enriched zinc concentrate, hydrochloric acid, urea, and zinc carbonate hydroxide hydrate.

The scientific novelty of the dissertation research is as follows:

the optimal technological parameters for flotation enrichment of polymetallic ore were identified;

the possibility of increasing the degree of zinc extraction from zinc concentrate by preliminary oxidative calcination followed by autoclave hydrochloric acid leaching has been established;

the optimal technological parameters for obtaining zinc chloride solutions purified from associated impurities have been determined;

for the first time, the possibility of obtaining nano-sized zinc oxide from mixtures of zinc chloride and carbamide using ultra-high-frequency radiation has been established;

the optimal technological parameters for obtaining zinc oxide nanoparticles from purified zinc chloride solutions have been established;

a technological scheme for processing zinc concentrate into nano dispersed zinc oxide powder has been developed.

Implementation of research results. Based on the scientific results obtained to develop a technology for processing zinc concentrate into nano-sized zinc oxide:

the technology direct flotation enrichment of polymetallic ore, the technology for autoclaved extraction of zinc from enriched zinc concentrate using the flotation method by preliminary roasting the concentrate and cleaning the zinc chloride solution of impurities has been tested under experimental and industrial conditions at JSC JV “Elektrokhimozavod” and included in the list of promising, implemented developments of JSC JV “Elektrokhimozavod” (certificate of JSC JV “Elektrokhimozavod” dated February 26, 2026, No. 12). As a result, the possibility of processing flotation-enriched zinc concentrate into a purified zinc chloride solution for further processing has been established;

the technology for processing purified zinc chloride solution into nano-sized zinc oxide by converting it in a mixture with carbamide using ultra-high-frequency radiation has been tested under experimental and industrial conditions at JSC JV “Elektrokhimozavod” and included in the list of promising, implemented developments of JSC JV “Elektrokhimozavod” (certificate of JSC JV “Elektrokhimozavod” dated February 26, 2026, No. 12). As a result, the possibility of organizing the production of nanosized zinc oxide was established.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references from 147 titles and an appendix. The volume of the dissertation is 106 pages.

E’LON QILINGAN ILMIY ISHLAR RO‘YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLICATION

I bўлим (I часть; I part)

1. Shokir Rakhimkulov, Diyorbek Absattorov, Bakhtiyor Borikhonov, Erkin Yakubov, Bakhodir Abdullayev, Murodjon Samadiy. Synthesis and Application of Zinc Oxide Nanoparticles // Research Journal of Chemistry and Environment. Volume 28, Issue 01, pp. 947-966, May, 2024. ISSN: 0972-0626; Scopus (3) SJIF (23) IF-1.1. https://www.researchgate.net/publication/381899511

2. Rakhimkulov Sh., Khidirova Y., Kholov I., Abdukarimova S., Samadiy M. Materials of zinc oxide nanoparticles and their potential applications: progress, challenges and perspectives // Science and Innovation. Vol. 3, Issue 10, pp. 256-265, October 2024. ISSN: 2181-3337; SJIF (23) IF-6.735. https://doi.org/10.5281/zenodo.14030872

3. Рахимкулов Шокир Ризоевич, Холов Илхом Абдукаюмович, Умиджонова Гульхайо Шухрат кизи, Самадий Муроджон Абдусалимзода, Принципиальная схема получения наночастиц оксида цинка // Universum: технические науки. № 10 (127), С. 46-49, (02.00.00, №1). URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/18352

4. Rakhimkulov Sh., Kholov I., Davlatov F., Samadiy M., Kahharov D. Study of the degree of clarification and filterability of zinc oxide suspension // Science and Education in Karakalpakstan. pp. 216-219, № 2/2 (49). June 2025. ISSN: 2181-9203; (02.00.00). https://cdn.karsu.uz/uploads/qft-jurnal/b2b06c12-9506-4ca2-a630-36a0cd7afb6e.pdf

5. Kazakhbaev S., Rakhimkulov Sh., Davlatov F., Samadiy M., Kholov I., Sultonov A. Characteristics of the raw, intermediate, and final products in the production of zinc oxide // Science and Education in Karakalpakstan. pp. 251-254, № 2/2 (49). June 2025. ISSN: 2181-9203; (02.00.00). https://cdn.karsu.uz/uploads/qft-jurnal/b2b06c12-9506-4ca2-a630-36a0cd7afb6e.pdf

6. Shokir Rakhimkulov, Farrukh Davlatov, Ilkhom Kholov, Zumrat Panjieva, Murodjon Samadiy. Характеристика исходных, промежуточных и конечных продуктов при получении оксида цинка // Central Asian Food engineering and technology. pp. 3-7, Volume 3, issue 5, june 2025. ISSN: 2181-385x; (02.00.00). https://doi.org/10.5281/zenodo.16666280

II bo‘lim (II часть; II part)

7. Ш.Р. Рахимкулов, М.А. Самадий, И.И. Усманов. О возможности получения оксида цинка из местного цинксодержащего сырья // Usmanov Ilxam Ikramovichning 70 yillik yubileyiga bag‘ishlangan «Zamonaviy kimyoviy va fizikaviy texnologiyalarda paradigmalar: an’analar va innovatsion yondashuvlarni o‘zaro ta’siri» mavzusidagi xalqaro ilmiy-texnikaviy anjumanining

maqolalar to‘plami. Yangiyer 2022 yil 19-20 oktyabr. C. 76-78. https://www.researchgate.net/publication/365125043

8. Ш.Р. Рахимкулов, М.А. Самадий. Получение оксида цинка из цинксодержащего сырья // Труды XXXII - научно- технической конференции молодых ученых, магистрантов и студентов бакалавриата. Тошкент 2023, С. 993-994. https://doi.org/10.5281/zenodo.7895680

9. Sh.R. Rahimqulo, M.A. Samadiy. Tarkibida rux saqlovchi xomashyolardan rux oksidi ishlab chiqish // O‘zbekiston Respublikasi fanlar akademiyasining 80 yilligiga bag‘ishlangan «Farg‘ona vodiysida fan va texnologiya» mavzusidagi ilmiy konferensiyasinig materiallar to‘plami. Namangan 2023-yil 11-12 may C. 374-376. https://doi.org/10.5281/zenodo.21777151

10. Ш.Р. Рахимкулов, М.А. Самадий. Производство оксида цинка из цинкосодержащего сырья // O‘zbekiston Respublikasi fanlar akademiyasining 80 yilligiga bag‘ishlangan «Farg‘ona vodiysida fan va texnologiya» mavzusidagi ilmiy konferensiyasinig materiallar to‘plami. Namangan 2023-yil 11-12 may. C. 376-377. https://www.researchgate.net/publication/371170721

11. Shokir Rakhimkulov, Tursunkulova Mavluda, Murodjon Samadiy. A review of the application and production scale of zinc oxide // Международный научный журнал «Новости образования: исследование в XXI веке» № 31 (100), часть 1 Москва 2025 г Марта. С. 354-356. https://doi.org/10.5281/zenodo.21777245

12. Shokir Rakhimkulov, Tursunkulova Mavluda, Murodjon Samadiy. Zinc oxide research object and experimental methods feature // Международный научный журнал «Новости образования: исследование в XXI веке» № 31 (100), часть 1 Москва 2025 г Марта. С. 357-360. https://doi.org/10.5281/zenodo.21777340

13. Рахимкулов Ш.Р., Самадий М.А. Методы получения оксида цинка и области применения // Международной научно-технической конференции «Инновационные разработки и перспективы развития химической технологии силикатных и высокотемпературных материалов» Ташкент 2025 г Апрель 10-11. С. 399-401. https://doi.org/10.5281/zenodo.21776979

14. Рахимкулов Ш.Р., Самадий М.А., Физико-химические свойства и способы получения оксида цинка // Международной научно-технической конференции «Инновационные разработки и перспективы развития химической технологии силикатных и высокотемпературных материалов» Ташкент 2025 г Апрель 10-11. С. 402-404. https://doi.org/10.5281/zenodo.21777409

Avtoreferat «Qoraqalpoq davlat universitetining Axborotnomasi» jurnalida tahrirdan o‘tkazilib, o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlar o‘zaro muvofiqlashtirildi. (30.10.2026 yil)

Basıwǵa ruqsat berilgen waqtı 30.10.2026 j. Format – 60/84 1/16.
"Times" garniturası. Ofset usılında basıldı. Kólemi 2,75 b.t.
Nusqası 60 dana. Buyırtpa №157-26/K
«Miraziz Nukus» JShJ baspaxanasında basıldı
Ózbekstan Respublikası baspa sóz hám xabar agentliginiń
2018-jıl 16-maydağı № 11–3059 licenziyası.