

**UMUMIY VA NOORGANIK KIMYO INSTITUTI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.05/2025.27.12.K/T.19.01
RAQAMLI BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

XORAZM MA'MUN AKADEMIYASI

MADAMINOV DILSHODBEK QURANBOYEVICH

**“KVARS QUMI – MIKROKREMNEZEM – KALSINATSIYALANGAN
SODA” SISTEMASIDA NATRIY SILIKAT SINTEZI VA XOSSALARI**

02.00.15 – Silikat va qiyin eriydigan nometall materiallar texnologiyasi

**Kimyo fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2026

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Madaminov Dilshodbek Quranboyevich

“Kvars qumi – mikrokremlazem – kalsinatsiyalangan soda” sistemasida
natriy silikat sintezi va xossalari..... 3

Мадаминов Дилшодбек Куранбоевич

Синтез и свойства силиката натрия в системе «кварцевый песок –
микрокремнезём – кальцинированная сода»..... 21

Madaminov Dilshodbek Kuranboyevich

Synthesis and properties of sodium silicate in the system “quartz sand –
microsilica – calcined soda” 39

E’lon qilingan ilmiy ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ
List of published works..... 42

**UMUMIY VA NOORGANIK KIMYO INSTITUTI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.05/2025.27.12.K/T.19.01
RAQAMLI BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

XORAZM MA'MUN AKADEMIYASI

MADAMINOV DILSHODBEK QURANBOYEVICH

**“KVARS QUMI – MIKROKREMNEZEM – KALSINATSIYALANGAN
SODA” SISTEMASIDA NATRIY SILIKAT SINTEZI VA XOSSALARI**

02.00.15 – Silikat va qiyin eriydigan nometall materiallar texnologiyasi

**Kimyo fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2026

Kimyo fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2026.2.PhD/K1231 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Xorazm Ma'mun akademiyasida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uchta tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) ilmiy kengash veb-sahifasining www.ionx.uz va "ZiyoNet" axborot-ta'lim portalining www.ziynet.uz manzillariga joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Yunusov Mirdjalil Yusupovich
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Qodirova Zulayho Raimovna
kimyo fanlari doktori, professor

Adinayev Xidir Abdullayevich
kimyo fanlari doktori, dotsent

Yetakchi tashkilot:

Berdaq nomidagi Qoraqalpoq davlat universiteti

Dissertatsiya himoyasi O'zR FA Umumiy va noorganik kimyo instituti huzuridagi DSc.05/2025.27.12.K/T.19.01 raqamli bir martalik ilmiy kengashning "29" oktyabr 2026-yil soat 15:00 dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100170, Toshkent shahar, Mirzo Ulug'bek ko'chasi, 77-a. Tel.: (99871)262-56-60; faks: (99871)262-79-90, e-mail: ionx@academy.uz).

Dissertatsiya ishi bilan Umumiy va noorganik kimyo institutining axborot resurs markazida tanishish mumkin (№17 raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100170, Toshkent shahar, Mirzo Ulug'bek ko'chasi, 77-a. Tel.: (99871)262-56-60; faks: (99871)262-79-90).

Dissertatsiya avtoreferati 2026-yil "15" oktyabr kuni tarqatilgan.
(2026-yil "15" oktyabrdagi №17 raqamli reyestr bayonnomasi).



A.B. Ibragimov

Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik
ilmiy kengash raisi, k.f.d., prof.

B.Z. Adizov

Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik
ilmiy kengash kotibi, t.f.d., prof.

F.B. Atabayev

Ilmiy darajalar beruvchi bir martalik
ilmiy kengash qoshidagi bir martalik
ilmiy seminar raisi, t.f.d., prof.

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Dunyoda silikatlar kimyosining muhim yo'nalishlaridan biri yuqori modulli, fizik-kimyoviy xususiyatlarga ega natriy silikatlarni sintez qilish, ularning hosil bo'lish kinetikasi va mexanizmlarini o'rganish bo'yicha AQSh, Xitoy, Rossiya va Yaponiya kabi rivojlangan mamlakatlarda ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Bu borada natriy silikatlar sintezida mahalliy xom ashyo va ikkilamchi resurslardan iqtisodiy jihatdan samarali foydalanish imkoniyatlarini ilmiy-amaliy asoslash muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Biroq yuqori modulli natriy silikatlarni mahalliy kvars qumlari va mikrokremnezem asosida sintez qilishning ilmiy asoslari, sintez jarayonida faza hosil bo'lish qonuniyatlari hamda mexanizmlari yetarli darajada o'rganilmagan. Shu sababli natriy silikatlarni sintez qilishda xom ashyo bazasini kengaytirish, kvars qumlari va mikrokremnezemni kompleks qayta ishlash hamda «Yashil iqtisodiyot» tamoyillariga mos resurs va energiya tejamkor texnologiyalarni takomillashtirish muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

Jahonda kvars qumi zaxiralarini o'rganish va boyitish usullarini qo'llash orqali olingan yuqori konsentratli kvars qumidan foydalanib yuqori modulli natriy silikatlarni sintez qilish bo'yicha keng qamrovli ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Bu borada natriy silikatlarni turli sintez usullari yordamida olish jarayonida kristall fazalarning shakllanish qonuniyatlarini chuqur tahlil qilish, plazma va termik ishlov berish jarayonlarida faza hosil bo'lishning mexanizmlari hamda kinetikasini o'rganish, gidrotermal usulda natriy silikatlarni sintez qilish va ularning fizik-kimyoviy, fizik-mexanik xususiyatlarini takomillashtirish, natriy silikatlar tarkibidagi moddalar nisbatini optimallashtirish, mahsulotning qovushqoqlik, zichlik, vizual tavsiflari kabi sifat ko'rsatkichlarini yaxshilash, sanoatda hamda bino va inshootlarni himoyalash tizimlarida qo'llash imkoniyatlarini kengaytirish va funksional xossalarini oshirishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Respublikamiz kimyo va qurilish sanoatida oxirgi yillarda amalga oshirilayotgan keng qamrovli chora-tadbirlar natijasida gidrofob materiallarni ko'paytirish va ular asosida raqobatbardosh mahsulotlar turlarini kengaytirish, kvars qumi xom ashyolarning yangi zaxiralarini yaratish, ulardan import o'rnini bosuvchi mahsulotlar ishlab chiqarish texnologiyalarini rivojlantirish borasida muhim nazariy va amaliy natijalarga erishilmoqda. O'zbekiston Respublikasining 2022–2026-yillarga mo'ljallangan “Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi”ning Milliy iqtisodiyotni rivojlantirish, uning o'sish sur'atlarini zamon talablari darajasida ta'minlash deb nomlangan bo'limida “Mahalliy xom ashyoni chuqur qayta ishlashga asoslangan yuqori qo'shimcha qiymatli mahsulot va texnologiyalarning yangi turlarini ishlab chiqarish, shu asosda ichki va tashqi bozorlarda mahalliy tovarlarning raqobatbardoshligini ta'minlash”¹ yuzasidan muhim vazifalar belgilab berilgan. Bu borada, Ravshan II koni kvars qumlari va sanoat chiqindilaridan

¹ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son “Yangi O'zbekistonning 2022–2026 yillarga mo'ljallangan Taraqqiyot Strategiyasi” to'g'risidagi Farmoni

foydalanib, import o'rnini bosuvchi eksportga yo'naltirilgan natriy silikatlar ishlab chiqarishga oid tadqiqotlar olib borish muhim ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 7-fevraldagi PF-4947-sonli "2017–2021-yillarda O'zbekiston Respublikasini rivojlantirishning beshta ustuvor yo'nalishi bo'yicha Harakatlar Strategiyasi" to'g'risidagi, 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-sonli "2022–2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi" to'g'risidagi Farmonlari, 2016-yil 26-dekabrda PQ-2698-son "2017-2019-yillarda tayyor mahsulot turlari, butlovchi buyumlar va materiallar ishlab chiqarishni mahalliy lashtirishning istiqbolli loyihalarini amalga oshirishni davom ettirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi, 2019-yil 23-maydagi PQ-4335-sonli "Qurilish materiallari sanoatini jadal rivojlantirishga oid qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"gi qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining asosiy ustuvor yo'nalishlariga bog'liqligi. Mazkur tadqiqot Respublikada fan va texnologiyalarni rivojlantirishning VII «Kimyoviy texnologiya va nanotexnologiya» ustuvor yo'nalishiga muvofiq holda bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Nashr etilgan ilmiy adabiyotlarda natriy silikatlar sintezi, ularning tarkibi, tuzilishi va xossalarini yaxshilashga qaratilgan ilmiy izlanishlar P.N. Grigoryev, B.D. Toturbiev, V.I. Korneev, V.V. Rusina, E.V. Korda, V.V. Danilov, A.M. Pijov, K.M. Ioganov, D.O. Bondarenko, V.S. Bessmertniy, N.I. Bondarenko, Z.V. Pavlenko, D.I. Izofatova, E.L. Kupavtsev, P.S. Dyumina, A.V. Makarov, N.M. Zdorenko, M.A. Androsova, Y.T. Platov, R.A. Platova kabi olimlar ishlarida batafsil yoritilgan. Natriy silikatlarini zamonaviy usullarda, jumladan, gidrotermal usul yordamida sintez qilish bo'yicha bir qator ilmiy tadqiqotlar E.A. Mamchenkov, V.Y. Prokofyev, K.G. Yegorova, A.V. Skvortsov, N.A. Dubinin tomonidan, shuningdek $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ sistemasida hosil bo'ladigan natriy silikatlarining fazaviy tarkibi, erish va kristallanish haroratlari, evtektik nuqtalari, fazaviy o'tishlar, qattiq eritmalar va shishasimon sohalar o'rganilgan, natriy silikatlarining tarkibi va sintez usullari bo'yicha S.V. Digonskiy, E.D. Kravtsov, V.V. Ten, K.T. Tong, R. Vinai, M.N. Soutsos, U. Kahlenberglar tomonidan ilmiy tadqiqotlar olib borilgan.

Respublikada tabiiy mineral xom ashyolar va ikkilamchi resurslar asosida past va yuqori modulli natriy silikatlar olishda xom ashyoning kimyoviy tarkibi, silikat moduli, sintez harorati o'rtasidagi bog'liqliklar, tarkib o'zgarishiga bog'liq holda silikat tuzilmasining polimerlanish darajasi, fazaviy holatlar va fizik-kimyoviy xossalarning o'zgarishi, reaksiya qobiliyati yuqori bo'lgan ikkilamchi resurslarni qo'llash hisobiga energiya tejankor usullarini yaratish bo'yicha olib borilgan ilmiy-tadqiqot ishlarining natijalari N.A. Sirajiddinov, A.A. Ismatov, A.M. Eminov, Z.R. Qodirova, M.X. Aripova, M.Y. Yunusov, J.I. Alimjonova, Z.K. Babayev kabi yetakchi olimlarning ilmiy ishlarida o'z aksini topgan.

Ta'kidlash lozimki, tadqiqotlar natijasida ushbu yo'nalishda muayyan natijalarga erishilgan bo'lsa-da, mineral xom ashyo va ikkilamchi resurslar hamda turli sintez usullaridan foydalanib natriy silikatlar olishning maqbul usullarini

aniqlash bo'yicha ilmiy asoslangan ma'lumotlar yetarli emasligi mazkur tadqiqotning dolzarbligini belgilaydi.

Dissertatsiya mavzusining dissertatsiya bajarilgan ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Urganch davlat universitetining ilmiy tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq №11/2021 – sonli “Mineral xom ashyolar va sanoat chiqindilari asosida xalq xo'jaligi mahsulotlarini olish texnologiyasini ishlab chiqish” mavzusi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi mahalliy mineral xom ashyolar hamda ikkilamchi resurslar asosida natriy silikatlarini termik va gidrotermal usullarda sintez qilish va xossalarini aniqlashdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

Qo'shko'pir va Ravshan II konlari kvars qumi hamda “O'zmetkombinat” AJ ferrosilitsey ishlab chiqarish chiqindisi mikrokremnezemning kimyoviy, mineralogik, granulometrik tarkibini o'rganish va fizik-kimyoviy xossalarini aniqlash;

natriy silikatlar sintez qilishda xom ashyoni boyitish usullari bo'yicha mavjud adabiyotlarni chuqur tahlil qilish va kvars qumlarini boyitishning samarali usulini ishlab chiqish;

“kalsinatsiyalangan soda – kvars qumi” ikkilamchi va “kalsinatsiyalangan soda – mikrokremnezem – kvars qumi” uchlamchi sistemalarining o'zaro munosabat diagrammalarini qurish hamda natriy silikatlar hosil bo'lishining fizik-kimyoviy va fazaviy o'zgarishlarini sintez qilingan natriy silikatning funksional xususiyatlariga bog'liqligini aniqlash;

boyitilgan kvars qumi va mikrokremnezem asosida natriy silikatlar sintez qilishda mikrokremnezemni sintez haroratiga, silikat moduliga, fazaviy tarkibiga hamda mahsulotning fizik-kimyoviy xossalariga ta'sirini aniqlash;

natriy silikat sintez qilishda optimal qiymatlarni belgilash uchun matematik model dasturini ishlab chiqish;

maqbul tarkib asosida olingan natriy silikatdan natriy silikat eritmasini sintez qilish bo'yicha tajriba-tadqiqotlarini amalga oshirish hamda natriy silikat eritmasining fizik-kimyoviy xossalarini o'rganish;

natriy silikat sintezining takomillashtirilgan usulini ishlab chiqish, olingan namunalarni ishlab chiqarish sharoitida sinovdan o'tkazish hamda yuqori modulli natriy silikat olish imkoniyatlarini aniqlash.

Tadqiqotning obyekti sifatida Qo'shko'pir va Ravshan II konlarining kvars qumlari, “O'zmetkombinat” AJ korxonasining mikrokremnezemli chiqindisi hamda “Qo'ng'iro't soda zavodi” MCHJ tomonidan ishlab chiqariladigan kalsinatsiyalangan soda namunalari olingan.

Tadqiqotning predmeti kvars qumi konsentrati, mikrokremnezem chiqindisi va natriy karbonat asosida natriy silikatlarini sintez qilish hamda ularning fizik-kimyoviy xossalariga mikrokremnezemning ta'sirini aniqlashdan iborat.

Tadqiqot usullari. Dissertatsiya ishida fizik-kimyoviy tahlilning zamonaviy (mineralogik, rentgen-fazaviy, differensial-termik, elektron-mikroskopik, IQ-

spektroskopik, rentgen-flyuorescent) hamda natriy silikatlarining an'anaviy usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

Ravshan II koni kvars qumining kimyoviy va mineralogik tarkibi tahlili asosida boyitishning gravitatsion usuli ishlab chiqilgan, natijada SiO_2 miqdorining 91,07 mas.% dan 97,50 mas.% gacha ortishi, Al_2O_3 miqdorining 1,23 mas.% dan 0,44 mas.% gacha, Fe_2O_3 miqdorining 1,12 mas.% dan 0,78 mas.% gacha va CaO miqdorining 2,05 mas.% dan 0,40 mas.% gacha kamayishi isbotlangan;

“kalsinatsiyalangan soda – kvars qumi”, ikkilamchi va “kalsinatsiyalangan soda – mikrokremnezem – kvars qumi” uchlamchi sistemalarida natriy silikatlarining hosil bo'lish qonuniyatlari, shakllanish bosqichlari, kinetikasi va mexanizmlarining funksional bog'liqliklari aniqlangan hamda nazariy jihatdan asoslangan;

maqbul tarkiblar asosida natriy ortosilikatlarning (Na_4SiO_4) 973°C, natriy metasilikatlarining (Na_2SiO_3) 824°C va natriy disilikatlarning ($\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$) 826°C haroratlarda fazaviy o'zgarish bosqichlari aniqlangan;

“kalsinatsiyalangan soda – mikrokremnezem – kvars qumi” asosida sintez qilingan natriy silikat bo'laklarini “tarkib–faza–xossa” o'rtasidagi funksional bog'liqliklari aniqlangan;

gidrotermal usulda natriy silikat asosida natriy silikat eritmasini sintez qilishda natriy silikatlarining zarracha o'lchami $d = 0,1\text{--}3,5$ mm bo'lganda suyuqlanish vaqti 20 daqiqadan 70 daqiqagacha o'zgarishi, $d > 3,5$ mm bo'lganda esa suvda erimaydigan zarrachalar miqdori ortishi hamda aralashtiruvchi reaktorning aylanish tezligi 700 ayl/daq bo'lganda jarayon samaradorligi oshishi asoslangan;

“kalsinatsiyalangan soda – mikrokremnezem – kvars qumi” uchlamchi sistemasida natriy silikatlar sintez qilishning takomillashtirilgan usuli yaratilgan hamda sintez qilingan yuqori modulli natriy silikatlardan sanoatda xom ashyo, bino va inshootlarni gidroizolyatsiya qilishda samarali foydalanish imkoniyatlari asoslangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

Ravshan II koni kvars qumini boyitishning maqbul usulini qo'llash natijasida SiO_2 miqdori 91,07 mas.% dan 97,50 mas.% gacha oshirilgan va yuqori sifatli kvars konsentrati olingan;

sanoat xom ashyosi va tayyor mahsulot sifatida foydalanish mumkin bo'lgan silikat moduli 2,9–3,1 oralig'idagi natriy silikatlarini sintez qilishning sodda, energiya va resurs tejamkor usuli ishlab chiqilgan hamda mahsulot tannarxini kamaytirish imkoniyati asoslangan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi zamonaviy fizik-kimyoviy tahlil usullaridan foydalanilganligi, olingan natijalarning nazariy va eksperimental ma'lumotlar bilan mos kelishi, shuningdek, ishlab chiqilgan natriy silikat tarkiblarining ishlab chiqarish sharoitida tajriba-sanoat sinovlaridan muvaffaqiyatli o'tkazilganligi bilan tasdiqlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

“Kalsinatsiyalangan soda – kvars qumi” ikkilamchi va “kalsinatsiyalangan soda – mikrokremnezem – kvars qumi” uchlamchi sistemalarida natriy silikatlarining hosil bo'lish qonuniyatlari, faza hosil bo'lish jarayonlari, kinetikasi va

mexanizmlar aniqlanganligi bilan izohlanadi. Shuningdek, qattiq fazali sintez jarayonida haroratning “tarkib–faza–xossa” tizimidagi funksional bog‘liqligi aniqlanib, yuqori modulli natriy silikatlar sintez qilish usuli ilmiy-amaliy asoslangan.

Ravshan II koni kvars qumi va “O‘zmetkombinat” AJ mikrokremnezem chiqindisi asosida yuqori modulli natriy silikatlar sintez qilish usuli ishlab chiqilganligi bilan tavsiflanadi. Ishlab chiqilgan natriy silikatlar qurilish sanoatida, xususan, bino va inshootlarni gidroizolyatsiya qilishda hamda boshqa sanoat tarmoqlarida foydalanishga xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. “Kalsinatsiyalangan soda – mikrokremnezem – kvars qumi” sistemasida natriy silikat sintezi va xossalari”ni tadqiq qilishdan olingan ilmiy natijalar asosida:

kvars qumidan boyitilgan konsentrat olish usuli “To‘rtko‘l Shisha Idishlari” MCHJ korxonasida amaliyotga joriy etilgan («O‘zsanoatqurilishmateriallari» uyushmasining 2025-yil 29-dekabrda №02/15-4405-son ma’lumotnomasi). Natijada amaldagi standart talablariga javob beruvchi kvars konsentratini olish imkonini bergan;

kvars qumi, mikrokremnezem va natriy karbonat asosida natriy silikatlar olish texnologiyasi “Xorazm shisha idishlari” MCHJ QKning “2027–2030-yillarda amaliyotga joriy etish bo‘yicha istiqbolli ishlanmalar ro‘yxati”ga kiritilgan «O‘zsanoatqurilishmateriallari» uyushmasining 2025-yil 29-dekabrda №02/15-4405-son ma’lumotnomasi). Natijada mahalliy mineral xom ashyo va texnogen chiqindilar asosida natriy silikatlar sintez qilish usulini ishlab chiqish hamda import o‘rnini bosuvchi mahsulotlar ishlab chiqarish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobsiyasi. Mazkur tadqiqot natijalari 5 ta xalqaro va 3 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarda muhokamadan o‘tgan.

Tadqiqot natijalarining e‘lon qilinishi. Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha jami 15 ta ilmiy ish nashr etilgan, shulardan O‘zbekiston Respublikasi Oliy Attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyasining asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan nashrlarda 7 ta ilmiy maqola, jumladan 2 ta Scopus va Web of Science ma’lumotlar bazasidagi, 2 ta xorijiy va 3 ta Respublika ilmiy jurnallarda chop etilgan.

Dissertatsiya tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to‘rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 112 betni tashkil qiladi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya ishining dolzarbligi va zaruriyati asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari, obyekt va predmetlari tavsiflangan. Tadqiqot ishining respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot ishi natijalarini amaliyotga joriy qilish, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo‘yicha ma’lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Kvars qumlari va mikroremnezem asosida natriy silikatlar sintezining nazariy asoslari”** deb nomlangan birinchi bobida mavzuga doir ilmiy tadqiqotlar natijalari, xorijiy va mahalliy adabiyotlarda keltirilgan ma’lumotlar umumlashtirilgan va ilmiy tahlil qilingan. Dunyo miqyosida natriy silikatlarini sintez qilish texnologiyasini takomillashtirish maqsadida olimlar tomonidan bir qancha ilmiy ishlar chop qilingan. Ushbu e’lon qilingan ishlarni tanqidiy tahlil qilish natijasida tadqiqotning maqsad va vazifalari belgilangan.

Dissertatsiyaning **“Dissertatsiya ishida qo’llanilgan asosiy tahlil usullari va xom ashyo materiallarning tavsifi”** deb nomlangan ikkinchi bobida tadqiqotlarda qo’llanilgan usullar bayoni va xom ashyolarni tanlash bo’yicha ma’lumotlar keltirilgan. Xom ashyolar va olingan mahsulotlarning tarkibi, tuzilishi va fizik-kimyoviy xossalarini aniqlashda zamonaviy tahlil usullaridan foydalanilgan. Qo’shko’pir va Ravshan II konlarining kvars qumi va mikroremnezemning kimyoviy-mineralogik tarkibi, fizik-kimyoviy xossalari o’rganilgan.

Dissertatsiyaning **“Ravshan II koni kvars qumini boyitish, natriy silikatlar sintezi, ularning fizik-kimyoviy xossalari va struktura hosil bo’lish kinetikasi”** deb nomlangan uchinchi bobida Ravshan II koni kvars qumini boyitish usuli ishlab chiqilgan va natriy silikat sintez qilish bo’yicha tarkiblar tuzilgan. Tuzilgan tarkiblarga termik ishlov berish natijasida va rentgen-fazaviy tahlillarga asoslanib ikkilamchi va uchlamchi sistemalarda munosabat diagrammalari qurilgan, shuningdek, tarkiblarni optimallashtirish va iqtisodiy samaradorlikni aniqlash maqsadida matematik model ishlab chiqilgan. Natriy silikatlar sintez qilish uchun xom ashyo sifatida Ravshan II koni kvars qumi 40%, mikroremnezem 20% va natriy karbonat 40% aralashmasi tanlangan va asoslangan.

Kvars qumlarining kimyoviy tarkibi tahlil qilinganda, Qo’shko’pir koni kvars qumi tarkibida SiO_2 miqdori 70,39%, Ravshan II koni kvars qumi tarkibida SiO_2 miqdori 91,07 % ni tashkil etishi aniqlandi (2-jadval). Tadqiqot natijasiga ko’ra, ularning granulometrik tarkibi quyidagi jadvalda keltirilgan: (1-jadval).

1-jadval

Qo’shko’pir va Ravshan II konlari kvars qumlarining granulometrik tarkibi

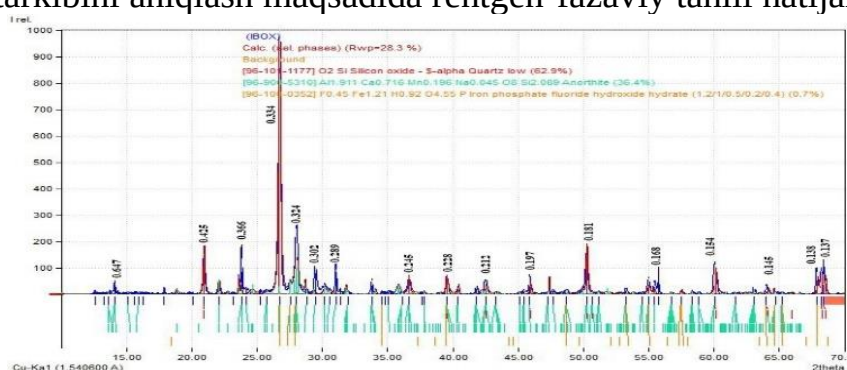
Qo’shko’pir koni								
Elaklar o’lchami	0,6	0,2	0,1	0,08	+0,063	-0,063	Ym	GOST-8736-2014. Ym
Umumiy yig’indi, %	-	68,5	87,95	97,1	98,5	99,45	3,4	0,7-3,5
Ravshan II koni								
Elaklar o’lchami	0,5	0,25	0,2	0,112	+0,063	-0,063	Ym	GOST-8736-2014. Ym
Umumiy yig’indi, %	0,14	9,74	56,24	86,44	94,94	99,44	1,3	0,7-3,5

GOST – 8736-2014 bo’yicha Qo’shko’pir koni kvars qumining yiriklik moduli 3,4 ni tashkil qilgan, Ravshan II koni kvars qumining yiriklik moduli 1,3 ni tashkil qilgan, har ikkala qum ham yiriklik moduli chegarasidan chiqmagan.

**Qo'shko'pir va Ravshan II koni kvarts qumlarining kimyoviy tahlil natijalari
(rentgen-flyuorescent tahlil)**

Namuna-lar	Oksidlar miqdori, mas.%								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	Σ
Qo'shko'pir koni									
1	70,35	10,2	3,81	8,87	2,11	1,72	2,40	0,47	100,0
Ravshan II koni									
2	91,07	1,23	1,12	2,05	0,50	0,73	0,44	0,06	100,0

2-jadvalda keltirilgan namunalarning tarkibida SiO₂ miqdori 70,35 mas.%, Al₂O₃ 10,20 mas.%, Fe₂O₃ 3,81 mas.%, CaO 8,87 mas.%, MgO 2,11 mas.% ekanligi aniqlandi. Ravshan II konidan olingan kvarts qumining kimyoviy tarkibida SiO₂ 91,07 mas.%, Al₂O₃ 1,23 mas.%, Fe₂O₃ 1,12 mas.%, CaO 2,05 mas.% ekanligi aniqlandi. Qo'shko'pir koni kvarts qumining o'rtacha namunasining mineralogik tarkibini aniqlash maqsadida rentgen-fazaviy tahlil natijalari o'rganilgan (1-rasm).

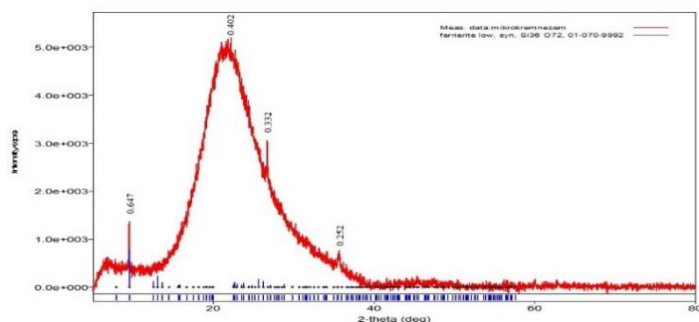


maksimal cho‘qqi kvarga xos (101) tekisligiga mos kelib, namunadagi kvartsning yuqori ulushda ekanini tasdiqlaydi. Namunada 96,56% kvarts hamda 3,44% kalsit fazasiga mos keluvchi nisbatan past intensivlikdagi cho‘qqilar qayd etilgan.

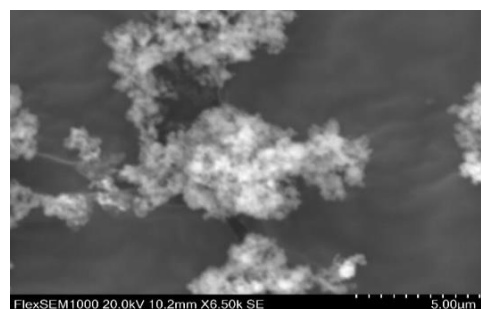
3-jadval

Qo‘shko‘pir va Ravshan II koni kvarts qumlarining kimyoviy va mineralogik tarkiblari

Xom ashyolar nomi	Mineralogik tarkibi, %	Kimyoviy tarkibi, %
Qo‘shko‘pir koni kvarts qumi	Kvarts (α – SiO_2), dala shpati – albit $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ va anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), kaolinit ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), Biotit $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, Kalsit (CaCO_3), Gematit (Fe_2O_3) va geotit ($\text{FeO}(\text{OH})$)	SiO_2 : 70,39; Al_2O_3 : 10,10; Fe_2O_3 : 1,126; CaO : 2,05; MgO : 8,87; K_2O : 1,72; Na_2O : 2,40;
Ravshan II koni kvarts qumi	Kvarts (α – SiO_2), Kalsit (CaCO_3), Gematit (Fe_2O_3)	SiO_2 : 91,071; Al_2O_3 : 1,234; Fe_2O_3 : 1,126; CaO : 2,05.



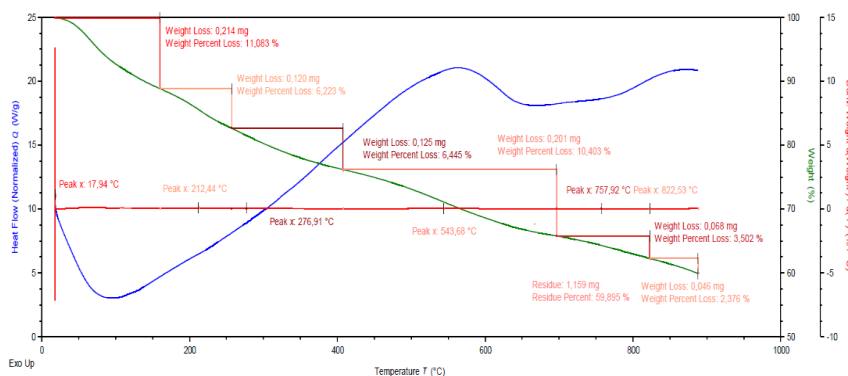
a



b

3-rasm. Mikrokrenezemning rentgenogrammasi (a) va elektron-mikroskopik tahlili (b) tasviri

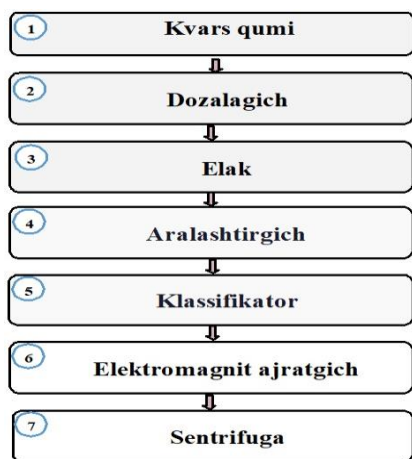
Mikrokrenezemning elektron-mikroskopik tasviri (3b-rasm) bir tekis tarqalgan mikrobo‘lakchalarni ko‘rsatadi, ular ko‘paytirish darajasi ortishi bilan yanada aniqroq namoyon bo‘ladi va zarracha o‘lchami 20 μm gacha ekanligi aniqlangan.



4-rasm. Mikrokrenezemning derivatogrammasi

Mikrokrenezemning TGA tahlil natijalariga ko‘ra, dastlabki massani yo‘qotish 17,94°C haroratda kuzatildi, bu gidratlangan va adsorbsiyalangan suvning

parchalanishi bilan bog'liq. Keyingi bosqichdagi massa yo'qotilishi 11,083% (0,214 mg) ni tashkil qilgan. Asosiy degidroksillanish jarayoni 212,44°C – 276,91°C oralig'ida kuzatilib, amorf kremniy dioksididagi gidroksil guruhlari Si–OH chiqib ketishi bilan bog'liq. Bu bosqichda qo'shimcha massa yo'qotilishi 6,223% (0,120 mg) + 6,445% (0,125 mg) ni tashkil etgan. Organik qo'shimchalar va uglerod saqlovchi birikmalarning parchalanishi 543,68°C–757,92°C oralig'ida kuzatilgan. Bu paytda massa yo'qotilishi 10,403% (0,201 mg) ga teng bo'lib, jarayon materialning yanada tuzilmaviy qayta qurilishi bilan bog'liq. Strukturaviy o'zgarishlarning yakuniy bosqichi 822,53°C haroratda kuzatildi, bu amorf SiO₂ ning kristobalit yoki tridimitga kristallanishi mumkinligini ko'rsatadi. Ushbu bosqichda umumiy massa yo'qotilishi 3,502% (0,068 mg) ni tashkil qilgan. ~1000°C haroratda massa yo'qotilishi 59,895% atrofida saqlanib qolishi mikrokremnezemning yuqori termostabilligidan dalolat beradi. 757,92°C haroratda kuzatilgan ekzoeffekt amorf kremniy dioksidining fazaviy o'tishi mavjudligini ko'rsatadi.



5-rasm. Ravshan II koni kvars qumini gravitatsion boyitish usuli
 1 – kvars qumi, 2 – dozalagich,
 3 – elak, 4 – aralashtirgich;
 5 – klassifikator; 6 – elektromagnit ajratkich; 7 – sentrifuga.

Qattiq fazali natriy silikat asosida natriy silikat eritmasi olish uchun kvars qumi tarkibidagi SiO₂ miqdori 91,07% ni tashkil qilganligi sababli boyitishga zarurat tug'ildi. Kvars qumini boyitish uchun gravitatsion usuldan foydalanildi va boyitilgandan so'ng, SiO₂ miqdori 97,5% gacha oshishiga erishildi.

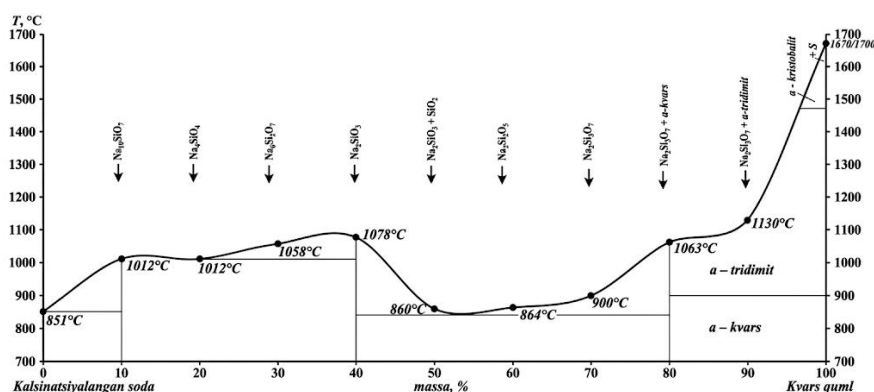
4-jadval

Kvars qumining boyitish jarayonidagi kimyoviy tarkiblari

Namu- nalar	Tarkibdagi asosiy oksidlar miqdorining oʻzgarishi,%							GOST 55222- 77 boʻyicha qum markasi
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	
Dastlabki namuna								
K-K1	91,07	1,23	1,12	2,05	0,50	0,73	0,44	PB-150-1
Aralashtargichda yuvilgan namuna								
K-K2	94,40	0,95	1,10	1,12	0,38	0,70	0,32	PB-100-1
Yuvilgan va klassifikatsiyalangan qum namunasi								
K-K3	95,17	0,52	1,08	0,42	0,29	0,37	0,30	S-070-2
Yuvilgan, klassifikatsiyalangan va magnit maydonida saralangan qum namunasi								
K-K4	97,55	0,44	0,68	0,40	0,28	0,36	0,29	VS-030-2

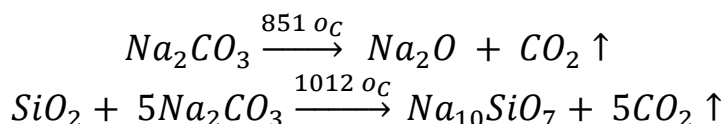
4-jadvalda keltirilgan ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, SiO_2 miqdori 91,07 % dan 97,55% gacha ortgan. Temir Fe_2O_3 oksidlari magnitli separatsiyadan keyin 1,12% dan 0,71% gacha kamaygan, shuningdek, Al_2O_3 miqdori ham 1,2% dan 0,51% gacha pasaygan.

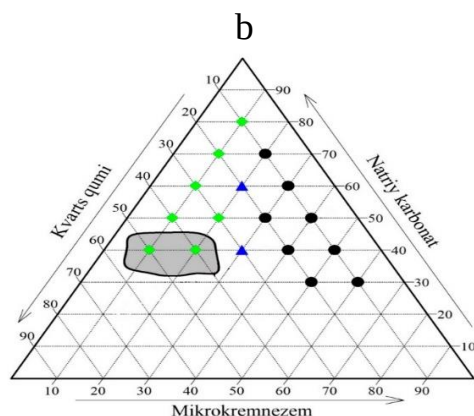
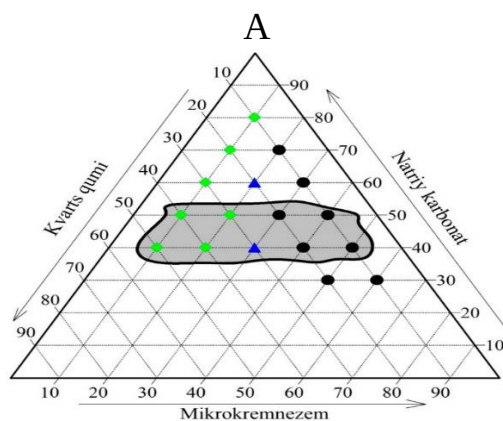
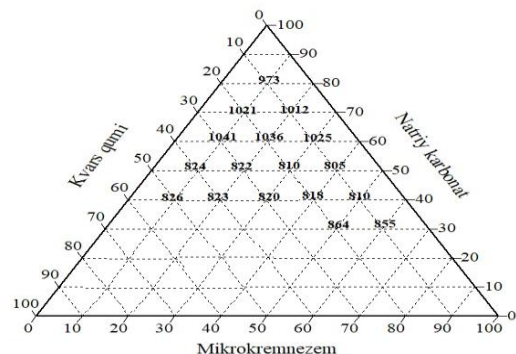
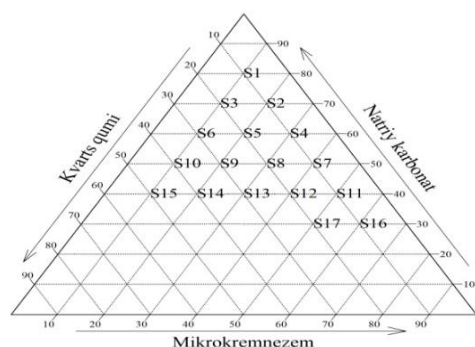
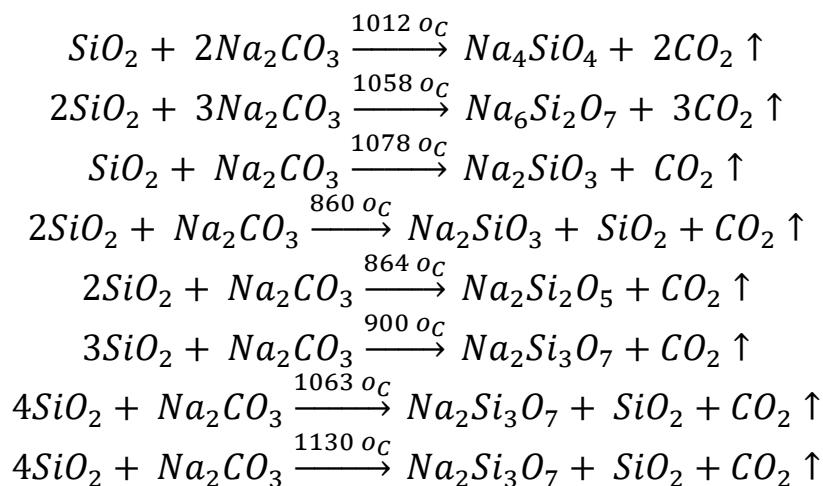
Na_2CO_3 – SiO_2 sistemasining holat diagrammasi tahlili natijasida komponentlar o'rtasida murakkab fazaviy o'zaro ta'sirlar sodir bo'lishi va turli natriy silikat birikmalari hosil bo'lishi aniqlandi. Diagrammaning natriy karbonatga boy qismida Na_2CO_3 ning suyuqlanish harorati 851°C ni tashkil etib, ushbu qiymat adabiyot ma'lumotlari bilan mos keladi.



6-rasm.
Kalsinatsiyalangan
soda – kvars qumi”
sistemasida fazaviy
munosabat
diagrammasi

90 mas.% Na_2CO_3 va 10 mas.% SiO_2 tarkibida pentanatriy ortosilikat ($\text{Na}_{10}\text{SiO}_7$) hosil bo'lish sohasi kuzatilib, 1012°C haroratda likvidus chizig'ining lokal maksimumi qayd etildi. Xuddi shu haroratda 80 mas.% Na_2CO_3 va 20 mas.% SiO_2 tarkibida tetranatriy ortosilikat (Na_4SiO_4) fazasining mavjudligi aniqlandi. 70 mas.% Na_2CO_3 va 30 mas.% SiO_2 nisbatida trinatriy disilikat ($\text{Na}_6\text{Si}_2\text{O}_7$) fazasi shakllanib, likvidus maksimumi 1058°C da kuzatildi. 60 mas.% Na_2CO_3 va 40 mas.% SiO_2 tarkibida natriy metasilikat (Na_2SiO_3) hosil bo'lib, diagrammadagi eng yuqori maksimumlardan biri 1078°C da qayd etildi. Bu holat Na_2SiO_3 fazasining tizimdagi yuqori termik barqarorligini ko'rsatadi. 50 mas.% Na_2CO_3 va 50 mas.% SiO_2 tarkibida 860°C haroratda evtektik nuqta aniqlanib, suyuq fazaning bir vaqtning o'zida bir necha qattiq fazalarga kristallanishi kuzatildi. 40 mas.% Na_2CO_3 va 60 mas.% SiO_2 tarkibida natriy disilikat ($\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$) hosil bo'lish sohasi aniqlanib, 864°C da ikkinchi evtektik minimum qayd etildi. 30 mas.% Na_2CO_3 70 mas.% SiO_2 tarkibida natriy trisilikat ($\text{Na}_2\text{Si}_3\text{O}_7$) fazasi hosil bo'lib, likvidus harorati 900°C ni tashkil etdi. 20 mas.% Na_2CO_3 va 80 mas.% SiO_2 tarkibida esa 1063°C haroratdagi likvidus maksimumi kuzatildi. Ushbu soha $\text{Na}_2\text{Si}_3\text{O}_7$ va α -kvars fazalarining ikki fazali muvozanat sohasi bilan tavsiflanadi. 10 mas.% Na_2CO_3 va 90 mas.% SiO_2 tarkibida 1130°C haroratdagi maksimum qayd etildi. Mazkur qiymat adabiyotlarda keltirilgan 1140°C ga yaqin bo'lib, α -kvars va α -tridimit fazalarining birgalikda mavjudligi bilan xarakterlanadi. SiO_2 ga boy qismda haroratning ortishi natijasida α -kvars $\rightarrow \alpha$ – tridimit $\rightarrow \alpha$ – kristobalit polimorf o'zgarishlari amalga oshadi. Natriy silikatlarini yuqori haroratlarda sintez qilish jarayonida quyidagi kimyoviy reaksiyalar sodir bo'ladi:

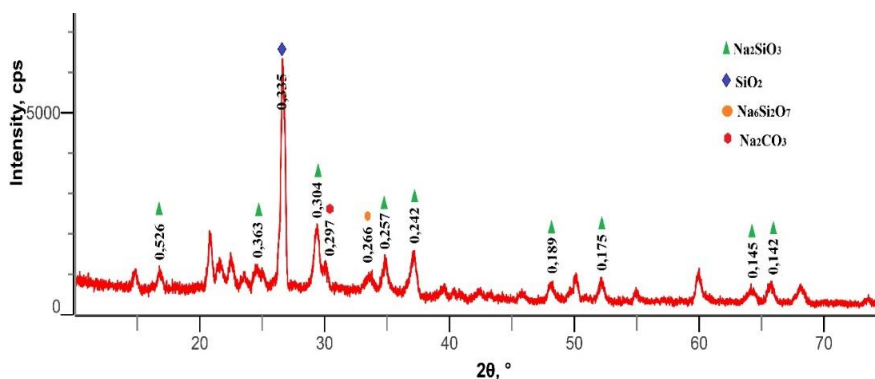




7-rasm. “Kalsinatsiyalangan soda – mikrokremnezem – kvars qumi” uchlamchi sistemaning o‘zaro munosabat diagrammasi

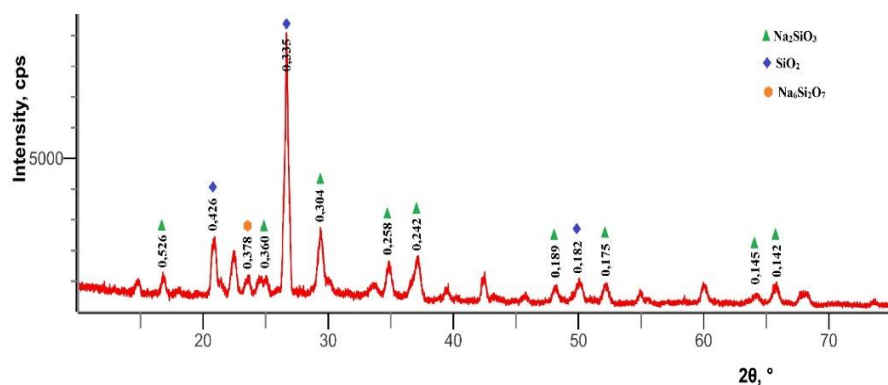
Uch komponent asosida natriy silikatlar sintez qilish uchun Richag qoidasi bo‘yicha har xil tarkibdagi 17 ta namuna tayyorlandi. Namunalar (a) dastlabki diagrammada tarkiblar bo‘yicha nomlandi va (b) diagrammada ularning suyuqlanish haroratlari qayd qilingan (c) tasvirdagi diagrammada natriy silikatlar hosil bo‘lishi ajratib tasvirlangan va har bir namunani sintez qilish jarayonidagi tashqi ko‘rinishi aks etgan. Ushbu tarkiblar asosida natriy silikat sintez qilish uchun optimal tarkiblar (d) tasvirdagi diagrammada namoyon bo‘lgan.

Rentgen-fazaviy tahlil natijalariga ko‘ra, kalsinatsiyalangan soda va Ravshan II koni kvars qumi asosidagi 30:70, 40:60 va 50:50 mas.% tarkibli namunalarda natriy silikatlarning qattiq eritmalari hosil bo‘lgan.



**8-rasm. SMK–14
namunaning
rentgenogrammasi**

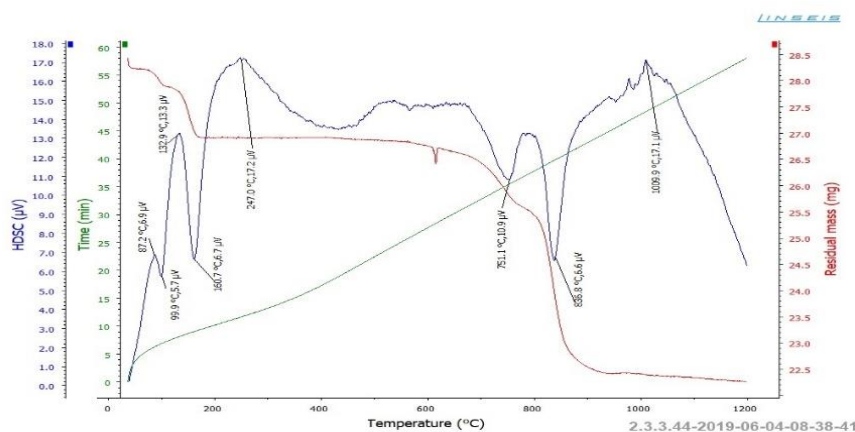
SMK–14 namunaning rentgenogrammasidagi difraksion maksimumlarni taqqoslash natijalari mikrokremnezem miqdorining ortishi namunalar fazaviy tarkibiga sezilarli ta'sir ko'rsatishini tasdiqladi. SMK–14 namunasi difraktogrammasida $2\theta = 16,81^\circ$ ($d = 0,526$ nm), $24,53^\circ$ ($d = 0,363$ nm), $29,38^\circ$ ($d = 0,304$ nm), $34,87^\circ$ ($d = 0,257$ nm), $37,09^\circ$ ($d = 0,242$ nm), $48,07^\circ$ ($d = 0,189$ nm), $52,10^\circ$ ($d = 0,175$ nm), $64,16^\circ$ ($d = 0,145$ nm) va $65,67^\circ$ ($d = 0,142$ nm) qiymatlarida natriy metasilikat fazasiga xos difraksion maksimumlar kuzatildi.



**9-rasm. SMK–15
namunaning
rentgenogrammasi**

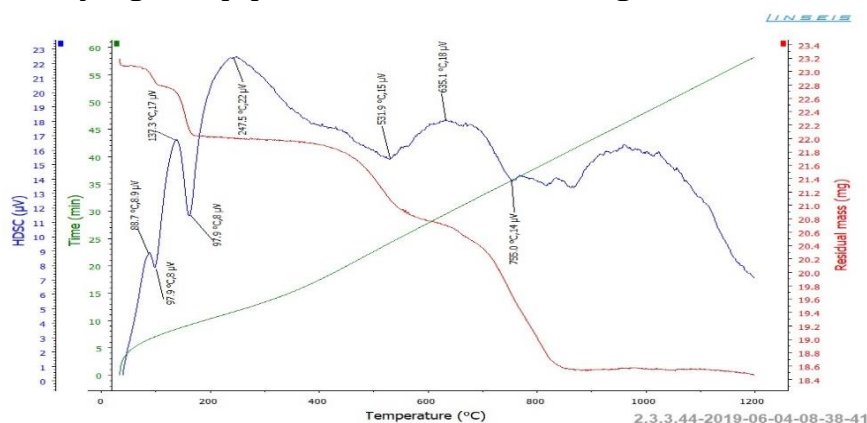
SMK–15 namunaning rentgenogrammasida Difraksion maksimumlar SMK-15 namunada quyidagi qiymatlarda qayd etildi: natriy metasilikat fazasiga xos piklar $2\theta = 16,82^\circ$ ($d = 0,526$ nm), $24,73^\circ$ ($d = 0,360$ nm), $29,35^\circ$ ($d = 0,304$ nm), $34,81^\circ$ ($d = 0,258$ nm), $37,06^\circ$ ($d = 0,242$ nm), $48,19^\circ$ ($d = 0,189$ nm), $52,07^\circ$ ($d = 0,175$ nm), $64,23^\circ$ ($d = 0,145$ nm) va $65,78^\circ$ ($d = 0,142$ nm) qiymatlarda kuzatildi. Shuningdek, $2\theta = 20,84^\circ$ ($d = 0,426$ nm), $26,61^\circ$ ($d = 0,335$ nm) va $50,10^\circ$ ($d = 0,182$ nm) da kvars fazasiga tegishli, $2\theta = 23,53^\circ$ ($d = 0,378$ nm) qiymatlarda esa natriy piroosilikat fazasiga xos difraksion maksimumlar qayd etildi.

SK–6 tarkibning DSC tahlilida $85\text{--}400^\circ\text{C}$ diapazonida qayd etilgan endo- va ekzotermik effektlar adsorbsion suvning chiqishi, gidroksil guruhlarining parchalanishi bilan izohlanadi. $450\text{--}800^\circ\text{C}$ oralig'ida kuzatilgan kuchli ekzotermik effektlar natriy karbonat ishtirokida kvarsning natriy silikatlariga aylanishi va yangi kristallik fazalarning hosil bo'lishiga mos keladi. $836,8^\circ\text{C}$ da qayd etilgan endotermik jarayon esa oraliq fazalarning polimorfik o'zgarishi hamda degazatsiya jarayoni bilan bog'liq. 1000°C dan yuqori haroratlarda aniqlangan ekzotermik effektlar esa aralashmada suyuq faza natriy silikatli shisha strukturasi shakllanishiga dalolat qiladi.



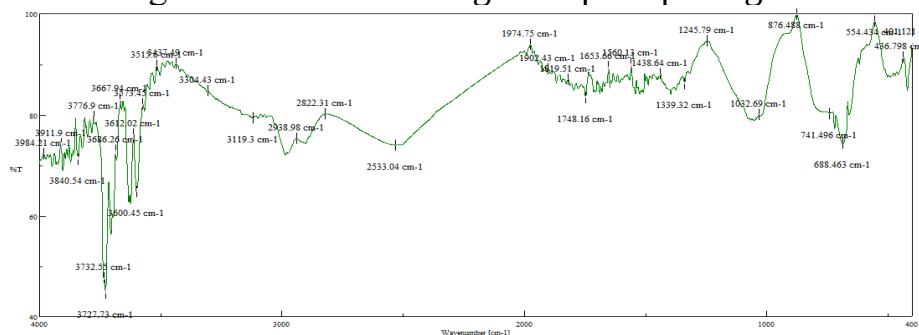
**10-rasm. SK–6
tarkibning
derivatogrammasi**

Keyingi tadqiqotda SMK–14 tarkibning DSC tahlili o‘rganildi (11-rasm).



**11-rasm. SMK–14
tarkibning
derivatogrammasi**

Keyingi tadqiqotlarda sintez qilingan natriy silikatning tajriba namunalaridan tanlab olingan SK–6 namunaning infraqizil spektrogrammalari olindi.



**12-rasm. SK–6
namunaning
infraqizil spektr
tahlili**

SK–6 namunaning spektrogrammasida 3732, 3691, 3667, 3610 sm^{-1} yuqori chastotali tor cho‘qqilar Si–OH gidroksil guruhlariga mansubdir, 3519–3193 sm^{-1} cho‘qqilar oralig‘i keng bo‘lib vodorod bog‘langan –OH guruhlar molekulariga mansubdir. Asosiy silikatlarga xos deformatsiyalar 1245, 1139 sm^{-1} cho‘qqilarda natriy silikatning Si–O–Si bog‘lanishlari kuzatilgan va natriy bilan koordinatsiyalangan Si–O–Na guruhlar 1022 sm^{-1} tebranishlari mavjudligini ko‘rsatdi, bu esa natriy silikat uchun xarakterlidir.

Elektron mikroskop tasvirlari natijalariga ko‘ra, SK–6, SMK–13, SMK–14 va SMK–15 namunalarning hammasida asosiy fon shishasimon faza hosil qilgan. Ammo ular tashqi ko‘rinishi va silikat moduli bo‘yicha tadqiq qilinganda, davlat andozalari va iqtisodiy jihatdan eng maqbul tarkib SMK–14 va SMK–15 ekanligi aniqlangan.



SK-6



SMK-13

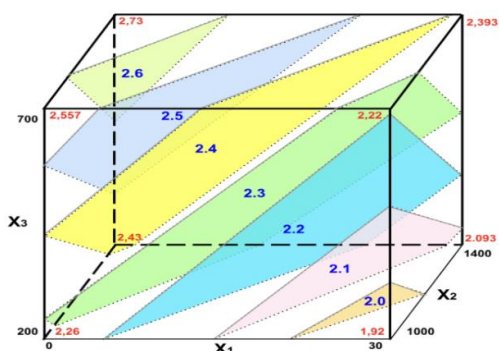


SMK-14



SMK-15

13-rasm. «Kvars qum – mikrokremnezem – natriy karbonat» tizimidagi natriy silikat namunalarning optik mikroskop tasvirlari ($\times 100$)



14-rasm. Natriy silikat eritmasi hosil bo'lishi uchun umumiy energiya sarfining javob yuzalarining izoparametrik diagrammalari

Olingan natijalarni tahlil qilish natijasida quyidagilar ta'kidlanadi: $G_p < G$ ($0,3062 < 0,871$) sharti tajribalarning takrorlanishi mumkinligini ko'rsatadi; $F_p < F_k$ ($0,00004341 < 0,300526$) sharti matematik modelning yetarli ekanligini ko'rsatadi;

Dissertatsiyaning “**Natriy silikat eritmasining sintezi, fizik-kimyoviy xossalari va joriy etishdan kutilayotgan iqtisodiy samaradorligi**” deb nomlangan to'rtinchi bobida natriy silikat eritmasi laboratoriya sharoitida sintez qilingan va fizik-kimyoviy xossalari o'rganilgan. Shuningdek mahalliy qumlar va texnogen chiqindilardan foydalanib, yuqori modulli natriy silikatlar sintez qilishning takomillashtirilgan usuli va iqtisodiy samaradorligi ishlab chiqilgan.

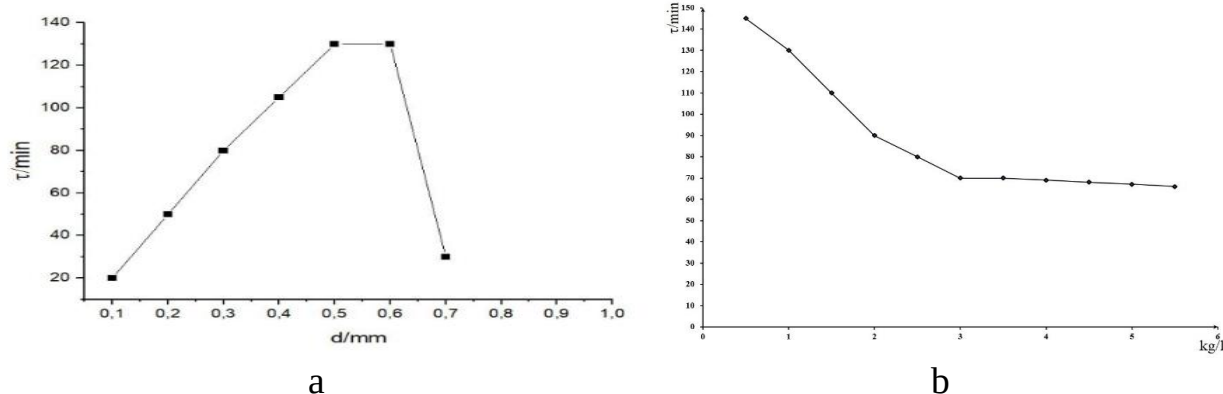
5-jadval

Natriy silikat eritmasini gidrotermal usulda olish bosqichlari

№	Jarayon nomi va ketma-ketligi	Jarayonning fizik-texnik ko'rsatkichlari
1-bosqich – natriy silikat bo'laklarini mexanik ishlov berish		
1	Yirik maydalash jarayoni, mm	5
2	Mayin maydalash jarayoni, mm	0,1 – 0,3
3	Jarayon davomiyligi, min	20 – 50
2-bosqich – natriy silikatni eritish jarayoni		
1	Natriy silikat massasi texnik tarozida tortiladi, gr	1000
2	Sarf bo'ladigan suvning miqdori, ml	3000
3	Jarayon harorati, °C	95
5	Aralashtirgich tezligi, ayl/min ⁻¹	700
3-bosqich – natriy silikat eritmasining fizik ko'rsatkichlarini rostlash		
1	Zichlik, gr/sm ³	1,46 – 1,52
2	Qovushqoqlik, mPa*s	85-145

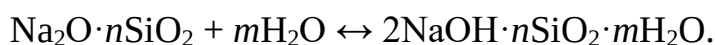
Quyidagi grafikda eruvchan shishani erish jarayoniga zarracha o'lchami va suv miqdori vaqt bo'yicha ta'siri (16a va b-rasmlar) tasvirlangan.

Natriy silikat eritmasini sintez qilishda optimal sharoit sifatida 3 litr suvga 1 kg natriy silikat bo'laklari mos kelishi ilmiy jihatdan asoslangan va tajribalar orqali isbotlangan. Agar nisbat oshirilsa, ishqoriy komponentning kamayishi kuzatiladi va qiyin eruvchi kremniy(IV) oksidi to'planmasi hosil bo'ladi. Natriy silikat bo'laklari o'lchamining reaksiya tezligiga ta'siri aniq: qancha kichik bo'lsa, shuncha katta yuzaga ega bo'ladi va reaksiya tezroq kechadi.

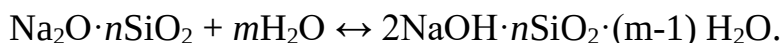


15-rasm. Natriy silikatning erishida (a) zarracha o'lchami va (b) suv sarfining vaqt bo'yicha ta'siri

Gidratatsiya – suv molekularining silikat molekulariga ta'siri natijasida gidrat birikmalarning hosil bo'lishi. Bu jarayon issiqlik chiqishi va gidratlangan zarrachalarning yiriklashishi bilan kechadi:

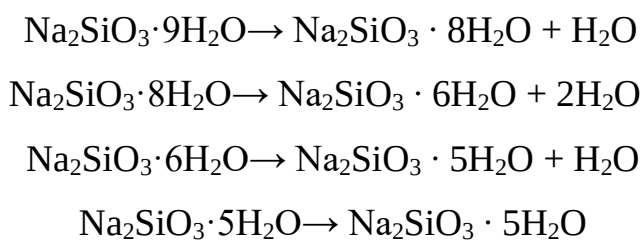
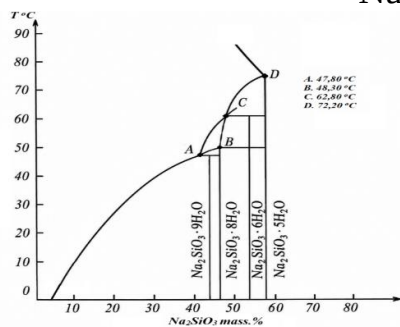
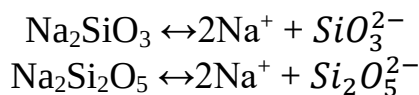


Eruvchanlik bosqichi – gidratlangan zarrachalarning dastlabki erishi. Gidroliz – gidratlangan ishqoriy silikatlarining parchalanishi va erkin kaustik soda hosil bo'lishi.



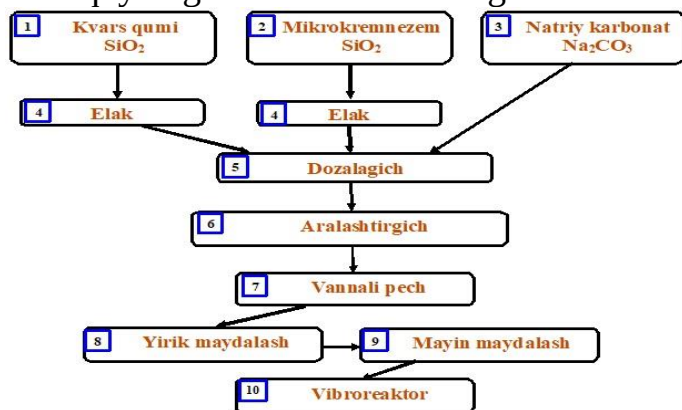
Peptizatsiya – kremniy oksidining kaustik soda ta'sirida kolloid eritmaga aylanishi.

Elektrolitik dissotsiyasi – gidratlangan ishqoriy silikatlar eritmada ionlarga parchalanadi.



16-rasm. Na₂SiO₃–H₂O sistemasida natriy silikatlarining munosabat diagrammasi

Ushbu bosqichlarga asoslangan holda natriy silikat olishning texnologik tizimi uchun quyidagi 17-rasmda keltirilgan sxema taklif qilindi.



17-rasm. Natriy silikat va eritmasini sintez qilish usuli

1, 2, 3 – xom ashyolar;
4 – elaklar; 5 – dozalagich; 6 –
aralashtirgich;
7 – vannali pech; 8 – rotorli
drobilka DR; 9 – sharli
tegirmon; 10 – vibroreaktor
AV-300.

XULOSA

1. Ravshan II va Qo‘shko‘pir konlari kvars qumlari hamda “O‘zmetkombinat” AJ ferrosilitsiy ishlab chiqarish chiqindisi hisoblangan mikrokremnezemning kimyoviy, mineralogik va granulometrik tarkibi kompleks tadqiq qilinib, ularning natriy silikatlar sintezi uchun istiqbolli xom ashyo manbalari ekanligi aniqlandi.

2. Ravshan II koni kvars qumini boyitishning gravitatsion usuli ishlab chiqildi va uning samaradorligi eksperimental jihatdan tasdiqlandi. Boyitish natijasida SiO_2 miqdori 91,07 mas.% dan 97,50 mas.% gacha ortdi, Al_2O_3 miqdori 1,23 mas.% dan 0,44 mas.% gacha, Fe_2O_3 miqdori 1,12 mas.% dan 0,78 mas.% gacha hamda CaO miqdori 2,05 mas.% dan 0,40 mas.% gacha kamaydi. Natijada natriy silikatlar sintezi uchun yuqori sifatli kvars xom ashyosi olindi.

3. “Kvars qumi – natriy karbonat” va “kvars qumi – mikrokremnezem – natriy karbonat” sistemalarida natriy silikatlarining hosil bo‘lish qonuniyatlari tadqiq qilinib, reaksiyalarning borish mexanizmlari, kinetik xususiyatlari hamda fazaviy o‘zgarishlarining funksional bog‘liqliklari aniqlandi va nazariy jihatdan asoslandi.

4. Mikrokremnezemning natriy silikatlar sintezidagi roli aniqlanib, uning qo‘shimcha komponent sifatida qo‘llanilishi natriy silikatlarining hosil bo‘lish jarayonini jadallashtirishi, fazaviy tarkibni boshqarish imkoniyatini yaratishi hamda tabiiy kvars qumi sarfini kamaytirishi isbotlandi.

5. Xom ashyo tarkibi va energiya sarfi parametrlarining o‘zaro ta’siri matematik modellashirilib, natriy silikatlar sintezi uchun energiya jihatidan maqbul texnologik rejimlar aniqlandi.

6. Natriy silikat massasini eritish va natriy silikat eritmasi olish jarayonlari kompleks tadqiq qilindi. Hidrotermal usulda natriy silikat eritmasi olishda zarracha o‘lchamining jarayon samaradorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi.

7. “Kvars qumi – mikrokremnezem – natriy karbonat” sistemasida natriy silikatlar olishning takomillashtirilgan usuli ishlab chiqildi. Mazkur usul mahalliy xom ashyo va texnogen chiqindilardan samarali foydalanish, resurs tejamkor texnologiyalarni joriy etish hamda yuqori modulli natriy silikatlar olish imkoniyatini yaratishi bilan tavsiflanadi.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПРИ НАУЧНОМ СОВЕТЕ
DSc.05/2025.27.12.K/T.19.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ
СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ
ХИМИИ**

ХОРЕЗМСКАЯ АКАДЕМИЯ МАЪМУНА

МАДАМИНОВ ДИЛШОДБЕК КУРАНБОЕВИЧ

**СИНТЕЗ И СВОЙСТВА СИЛИКАТА НАТРИЯ В СИСТЕМЕ
«КВАРЦЕВЫЙ ПЕСОК – МИКРОКРЕМНЕЗЁМ –
КАЛЬЦИНИРОВАННАЯ СОДА»**

02.00.15 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации доктора философии (PhD) по химическим наукам**

Ташкент – 2026

Тема диссертации доктора философии (PhD) по химическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Академии наук Республики Узбекистан под номером B2026.2.PhD/K1231.

Диссертация выполнена в Хорезмской академии Маъмуна.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета www.ionx.uz и на информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель:

Юнусов Мирджалил Юсупович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Кадырова Зулайхо Раимовна
доктор химических наук, профессор

Адинаев Хидир Абдуллаевич
доктор химических наук, доцент

Ведущая организация:

Каракалпакский государственный университет имени Бердаха

Защита диссертации состоится «29» октября 2026 года в 15:00 часов на заседании разового научного совета DSc.05/2025.27.12.K/T.19.01 при Институте общей и неорганической химии АН РУз. Адрес: 100170, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 77-а. Тел.: (+99871) 262-56-60; e-mail: ionx@academy.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в информационно-ресурсном центре Института общей и неорганической химии (зарегистрирована за №17). (Адрес: 100170, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 77-а. Тел.: (99871) 262-56-60).

Автореферат диссертации разослан «15» октябрь 2026 г.
(Протокол реестра рассылки № 17 от «15» октябрь 2026 г.)



А.Б. Ибрагимов
Председатель разового научного совета по
присуждению ученой степени, д.х.н., проф.

Б.З. Адизов
Учёный секретарь разового научного
совета по присуждению ученой степени,
д.т.н., проф.

Ф.Б. Атабаев
Председатель научного семинара при
разовом научном совете по
присуждению ученой степени, д.т.н., проф.

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. Одним из важных направлений химии силикатов в мире является синтез высокомолекулярных силикатов натрия, обладающих заданными физико-химическими и гидрофобными свойствами, а также изучение кинетики и механизмов их образования. В этой области проводятся научные исследования в развитых странах, таких как США, Китай, Россия и Япония. При этом одной из важных задач является научно-практическое обоснование возможностей экономически эффективного использования местного сырья и вторичных ресурсов при синтезе силикатов натрия. Однако научные основы синтеза высокомолекулярных силикатов натрия на основе местных кварцевых песков и микрокремнезёма, закономерности фазообразования и механизмы, протекающие в процессе синтеза, изучены недостаточно. В связи с этим расширение сырьевой базы для синтеза силикатов натрия, комплексная переработка кварцевых песков и микрокремнезёма, а также совершенствование ресурсо- и энергосберегающих технологий, соответствующих принципам «зелёной экономики», имеют важное научно-практическое значение.

В мировой научной практике проводятся широкомасштабные исследования, направленные на синтез высокомолекулярных натриевых силикатов с использованием высококонцентрированного кварцевого песка, получаемого в результате изучения запасов кварцевых песков и применения современных методов их обогащения. Особое внимание уделяется углублённому анализу закономерностей формирования кристаллических фаз в процессе получения натриевых силикатов различными методами синтеза, исследованию механизмов и кинетики фазообразования при плазменной и термической обработке, синтезу натриевых силикатов гидротермальным методом и совершенствованию их физико-химических и физико-механических свойств, оптимизации соотношения компонентов в составе натриевых силикатов, повышению качественных показателей продукции, таких как вязкость, плотность и визуальные характеристики, а также расширению возможностей их применения в промышленности и системах защиты зданий и сооружений, повышению их функциональных свойств.

В последние годы в результате реализации широкомасштабных мер в химической и строительной промышленности Республики достигнуты определённые научные и практические результаты в области увеличения производства гидрофобных материалов и расширения ассортимента конкурентоспособной продукции на их основе, создания новых запасов кварцевого сырья и развития технологий производства импортозамещающей продукции из него. В разделе Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы «Развитие национальной экономики и обеспечение темпов её роста на уровне современных требований» определены важные задачи по «производству новых видов продукции и технологий с высокой добавленной стоимостью на основе глубокой переработки местного сырья, а также

обеспечению конкурентоспособности отечественных товаров на внутреннем и внешнем рынках». В этой связи проведение исследований по производству импортозамещающих и экспортно-ориентированных силикатов натрия с использованием кварцевых песков месторождения Равшан II и промышленных отходов является актуальной научно-практической задачей.

Настоящая диссертационная работа в определённой степени способствует реализации задач, определённых в ¹Указах Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года №УП-4947 «О Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017–2021 годах», от 28 января 2022 года №УП-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы», постановлениях от 26 декабря 2016 года № ПП-2698 «О мерах по дальнейшему продолжению реализации перспективных проектов по локализации производства готовой продукции, комплектующих изделий и материалов в 2017–2019 годах», от 23 мая 2019 года №ПП-4335 «О дополнительных мерах по ускоренному развитию промышленности строительных материалов», а также других нормативно-правовых документах, относящихся к данной сфере деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики. Настоящее исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики VII «Химическая технология и нанотехнологии».

Степень изученности проблемы. В существующей научной литературе вопросы синтеза силикатов натрия, совершенствования их состава, структуры и свойств широко освещены в работах таких учёных, как П.Н. Григорьев, Б.Д. Тотурбиев, В.И. Корнеев, В.В. Русина, Е.В. Корда, В.В. Данилов, А.М. Пижов, К.М. Иоганов, Д.О. Бондаренко, В.С. Бессмертный, Н.И. Бондаренко, З.В. Павленко, Д.И. Изофатова, Е.Л. Купавцев, П.С. Дюмина, А.В. Макаров, Н.М.Здоренко, М.А.Андросова, Ю.Т. Платов, Р.А. Платова и других. Ряд научных исследований по синтезу силикатов натрия современными методами, в том числе гидротермальным способом, выполнен Е.А.Мамченковым, В.Ю. Прокофьевым, К.Г. Егоровой, А.В. Скворцовым, Н.А. Дубининым. Кроме того, фазовый состав силикатов натрия, образующихся в системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$, температуры плавления и кристаллизации, эвтектические точки, фазовые переходы, твёрдые растворы и стеклообразные области, а также вопросы состава и методов синтеза силикатов натрия исследованы С.В. Дигонским, Э.Д. Кравцовым, В.В. Теном, К.Т. Тонгом, Р. Винаем, М.Н. Саутсосом, У.Каленбергом.

В Республике результаты научно-исследовательских работ, посвящённых получению низко- и высокомолекулярных силикатов натрия на основе природного минерального сырья и вторичных ресурсов, изучению взаимосвязей между химическим составом сырья, силикатным модулем и температурой синтеза, степени полимеризации силикатной структуры в

¹ Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УП-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы».

зависимости от изменения состава, изменениям фазового состояния и физико-химических свойств, а также разработке энергосберегающих технологий за счёт использования вторичных ресурсов с высокой реакционной способностью, нашли отражение в научных трудах ведущих учёных Н.А. Сираджиддинова, А.А. Исматова, А.М. Эминова, З.Р. Кадыровой, М.Х. Ариповой, М.Ю. Юнусова, Ж.И. Алимджоновой, З.К. Бабаева и других.

Следует отметить, что, несмотря на достижение определённых результатов в данном направлении, недостаточность научно обоснованных данных об оптимальных способах получения силикатов натрия с использованием минерального сырья, вторичных ресурсов и различных методов синтеза обуславливает актуальность настоящего исследования.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами учреждения, в котором выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках темы №11/2021 «Разработка технологии получения продукции народного хозяйства на основе минерального сырья и промышленных отходов» в соответствии с планом научно-исследовательских работ Ургенчского государственного университета.

Целью исследования является синтез силикатов натрия термическим и гидротермальным методами на основе местного минерального сырья и вторичных ресурсов, а также определение их свойств.

Задачи исследования:

изучение химического, минералогического и гранулометрического состава кварцевых песков месторождений Кушкупыр и Равшан II, а также микрокремнезёма, являющегося отходом производства ферросилиция АО «Узметкомбинат», и определение их физико-химических свойств;

комплексный анализ существующей литературы по методам обогащения при синтезе силикатов натрия и разработка эффективного способа обогащения кварцевых песков;

построение диаграмм фазовых соотношений бинарной системы «кальцинированная сода – кварцевый песок» и тройной системы «кальцинированная сода – микрокремнезём – кварцевый песок», определение физико-химических и фазовых изменений, происходящих при образовании силикатов натрия, а также выявление их связи с функциональными свойствами синтезированного силиката натрия;

определение влияния микрокремнезёма на температуру синтеза, силикатный модуль, фазовый состав и физико-химические свойства продукта при синтезе натриевых силикатов на основе обогащённого кварцевого песка и микрокремнезёма;

разработка математической модели процесса синтеза натриевых силикатов для определения его оптимальных технологических параметров;

проведение экспериментальных исследований по синтезу раствора натриевого силиката на основе натриевого силиката оптимального состава и изучение физико-химических свойств полученного раствора натриевого силиката;

разработка усовершенствованного способа синтеза силикатов натрия, проведение производственных испытаний полученных образцов и определение возможностей получения высокомолекулярных силикатов натрия.

Объектом исследования являются кварцевые пески месторождений «Кўшкўпир» и «Равшан II», микрокремнезёмсодержащий отход АО «O‘zmetkombinat», а также образцы кальцинированной соды, выпускаемой ООО «Qo‘ng‘irot soda zavodi».

Предмет исследования – синтез натриевых силикатов на основе концентрата кварцевого песка, микрокремнезёмсодержащего отхода и карбоната натрия, а также определение влияния микрокремнезёма на физико-химические свойства получаемых натриевых силикатов.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы современные методы физико-химического анализа (минералогический, рентгенофазовый, дифференциально-термический, электронно-микроскопический, ИК-спектроскопический, рентгенофлуоресцентный), а также традиционные методы исследования силикатов натрия.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработан гравитационный способ обогащения кварцевого песка месторождения «Равшан II» на основе анализа его химического и минералогического состава; доказано, что в результате обогащения содержание SiO_2 увеличивается с 91,07 мас.% до 97,50 мас.%, содержание Al_2O_3 снижается с 1,23 мас.% до 0,44 мас.%, Fe_2O_3 – с 1,12 мас.% до 0,78 мас.%, а CaO – с 2,05 мас.% до 0,40 мас.%;

установлены и теоретически обоснованы закономерности образования натриевых силикатов, стадии их формирования, кинетика, механизмы и функциональные зависимости процессов в бинарной системе «кальцинированная сода – кварцевый песок» и тройной системе «кальцинированная сода – микрокремнезём – кварцевый песок»;

установлены стадии фазовых превращений ортосиликата натрия (Na_4SiO_4) при температуре 973°C, метасиликата натрия (Na_2SiO_3) – при 824°C и дисиликата натрия ($\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$) – при 826°C для составов оптимального состава;

установлены функциональные зависимости в системе «состав – фаза – свойства» для синтезированных на основе тройной системы «кальцинированная сода – микрокремнезём – кварцевый песок» образцов натриевых силикатов;

обосновано, что при гидротермальном синтезе раствора натриевого силиката на основе натриевых силикатов время растворения частиц размером $d = 0,1\text{--}3,5$ мм изменяется от 20 до 70 минут, при размере частиц $d > 3,5$ мм возрастает содержание нерастворимых в воде частиц, а при скорости вращения мешалки реактора 700 об/мин достигается повышение эффективности процесса;

разработан усовершенствованный способ синтеза натриевых силикатов в тройной системе «кальцинированная сода – микрокремнезём – кварцевый песок»; обоснована возможность эффективного использования

синтезированных высокомолекулярных натриевых силикатов в качестве промышленного сырья, а также для гидроизоляции зданий и сооружений.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

в результате применения оптимального метода обогащения кварцевого песка месторождения Равшан II содержание SiO_2 повышено с 91,07 мас.% до 97,55 мас.% и получен высококачественный кварцевый концентрат;

разработан простой, энерго- и ресурсосберегающий способ синтеза силикатов натрия с силикатным модулем в диапазоне 2,9–3,1, пригодных для использования в качестве промышленного сырья и готовой продукции, а также обоснована возможность снижения себестоимости продукции.

Достоверность результатов исследования подтверждается использованием современных методов физико-химического анализа, соответствием полученных результатов теоретическим и экспериментальным данным, а также успешным проведением опытно-промышленных испытаний разработанных составов силикатов натрия в производственных условиях.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования объясняется тем, что определены закономерности образования натриевых силикатов, процессы фазообразования, их кинетика и механизмы в бинарной системе «кальцинированная сода – кварцевый песок» и тройной системе «кальцинированная сода – микрокремнезём – кварцевый песок». Кроме того, установлена функциональная взаимосвязь температуры в системе «состав-фаза-свойства» в процессе твердофазного синтеза, а также научно-практически обоснован способ синтеза высокомолекулярных натриевых силикатов.

Практическая значимость результатов исследования характеризуется тем, что разработан способ синтеза высокомолекулярных натриевых силикатов на основе кварцевого песка месторождения «Равшан II» и микрокремнезёмсодержащего отхода АО «O'zmetkombinat». Разработанные натриевые силикаты могут быть использованы в строительной промышленности, в частности для гидроизоляции зданий и сооружений, а также в других отраслях промышленности.

Внедрение результатов исследования. На основе научных результатов, полученных при разработке способа синтеза натриевых силикатов в системе «кальцинированная сода – микрокремнезём – кварцевый песок» и исследовании их физико-химических свойств:

способ получения обогащённого концентрата из кварцевого песка внедрён в практику ООО «To'rtko'l Shisha Idishlari» (справка Ассоциации «Ўзсаноатқурилишматериаллари» №02/15-4405 от 29 декабря 2025 года). В результате обеспечена возможность получения кварцевого концентрата, соответствующего требованиям действующих стандартов;

технология получения силикатов натрия на основе кварцевого песка, микрокремнезёма и карбоната натрия включена в «Перечень перспективных разработок для внедрения в производство в 2026–2027 годах» СП ООО

«Xorazm shisha idishlari» (справка Ассоциации «O‘zsanoatqurilishmateriallari» № 02/15-4405 от 29 декабря 2025 года). В результате обеспечена возможность разработки технологии синтеза силикатов натрия на основе местного минерального сырья и техногенных отходов, а также производства импортозамещающей продукции.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования обсуждены на 5 международных и 3 Республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано всего 15 научных работ, из них 7 научных статей опубликованы в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, в том числе 2 статьи в изданиях, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science, 2 статьи в зарубежных и 3 статьи в Республиканских научных журналах.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Общий объём диссертации составляет 112 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обоснованы актуальность и необходимость диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, охарактеризованы объект и предмет исследования. Показано соответствие работы приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики, изложены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыты научная и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения о внедрении результатов исследования в практику, опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации, озаглавленной **«Теоретические основы синтеза силикатов натрия на основе кварцевых песков и микрокремнезёма»**, обобщены и научно проанализированы результаты исследований по теме, а также сведения, представленные в зарубежной и отечественной литературе. В целях совершенствования технологии и синтеза силикатов натрия в мировом масштабе учёными опубликован ряд научных работ. В результате критического анализа опубликованных исследований были определены цель и задачи настоящей работы.

Во второй главе диссертации, озаглавленной **«Основные методы анализа, использованные в диссертационном исследовании, и характеристика сырьевых материалов»**, приведено описание методов, использованных в исследованиях, а также сведения по выбору сырьевых материалов. Для определения состава, структуры и физико-химических свойств сырья и полученных продуктов использованы современные методы анализа. Изучены химико-минералогический состав и физико-химические

свойства кварцевых песков месторождений Кушкупыр и Равшан II, а также микрокремнезёма.

В третьей главе диссертации, озаглавленной «**Обогащение кварцевого песка месторождения Равшан II, синтез силикатов натрия, их физико-химические свойства и кинетика структурообразования**», разработан способ обогащения кварцевого песка месторождения Равшан II и составлены шихтовые составы для синтеза силикатов натрия. На основе результатов термической обработки разработанных составов и данных рентгенофазового анализа построены диаграммы фазовых соотношений для бинарной и тройной систем. Кроме того, с целью оптимизации составов и определения экономической эффективности разработана математическая модель. Обосновано, что в качестве сырьевой смеси для синтеза натриевых силикатов оптимальным является состав, включающий 40% кварцевого песка месторождения «Равшан II», 20 % микрокремнезёма и 40 % карбоната натрия.

Анализ химического состава кварцевых песков показал, что содержание SiO_2 в кварцевом песке месторождения Кушкупыр составляет 70,39%, а в кварцевом песке месторождения Равшан II – 91,07% (таблица 2). Согласно результатам исследований их гранулометрический состав приведён в нижеследующей таблице (таблица 1).

Таблица 1.

Гранулометрический состав кварцевого песка из месторождений Кушкупыр и Равшан II

Месторождение Кушкупыр								
Размер сита	0,6	0,2	0,1	0,08	+0,063	-0,063	Mk	ГОСТ-8736-
Общая сумма (в %)	-	68,5	87,95	97,1	98,5	99,50	3,4	2014. 0,7-3,5
Месторождение Равшан II								
Размер сита	0,5	0,25	0,2	0,112	+0,063	-0,063	Mk	ГОСТ-8736-
Общая сумма (в %)	0,14	9,74	56,24	86,44	94,94	99,45	1,3	2014. 0,7-3,5

Согласно ГОСТ 8736–2014, модуль крупности кварцевого песка месторождения Кушкупыр составил 3,4, а модуль крупности кварцевого песка месторождения Равшан II – 1,3. Установлено, что оба песка соответствуют нормативным пределам по показателю модуля крупности.

Таблица 2

Химический состав кварцевого песка месторождений Кушкупыр и Равшан II (данные рентгенофлуоресцентного анализа)

Образцы	Массовая доля оксидов, %								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	Σ
Месторождение Кушкупыр									
1	70,35	10,2	3,81	8,87	2,11	1,72	2,40	0,47	100,0
Месторождение Равшан II									
2	91,07	1,23	1,12	2,05	0,50	0,73	0,44	0,06	100,0

При анализе результатов рентгенофазового анализа кварцевого песка месторождения Кушкупыр установлено наличие кварца ($\alpha\text{-SiO}_2$) ($d/n = 0,153$; $0,154$; $0,181$; $0,334$; $0,424$ нм), альбита $\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$ и анортита ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) ($d/n = 0,166$; $0,174$; $0,182$; $0,201$; $0,355$ нм), каолинита ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) ($d/n = 0,324$; $0,245$; $0,289$ нм), гематита (Fe_2O_3) и гётита Fe(OH)_3 ($d/n = 0,228$ нм), а также кальцита (CaCO_3) ($d/n = 0,302$ нм). С целью определения минералогического состава средней пробы кварцевого песка месторождения Равшан II были изучены результаты рентгенофазового анализа (рисунок 2).

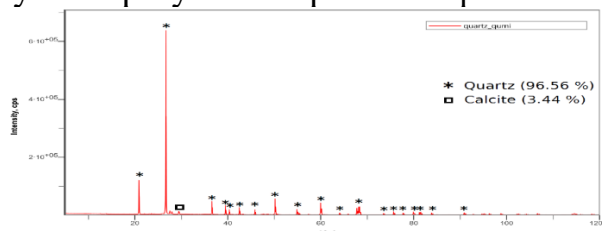
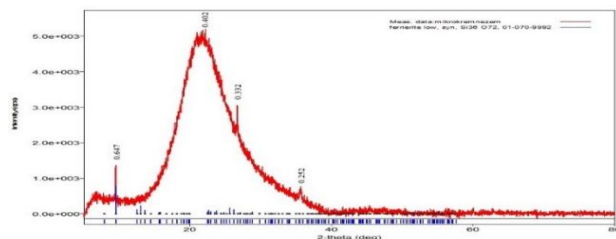


Таблица 3

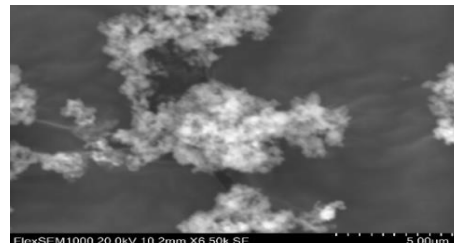
Наименование сырья	Минералогический состав, %	Химический состав, %
Кварцевый песок месторождения Кушкупыр	Кварц ($a - \text{SiO}_2$), полевые шпаты – альбит $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ и анортит $(\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$, каолинит $(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4)$, биотит $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, Кальцит (CaCO_3) , гематит (Fe_2O_3) и гётит $(\text{FeO}(\text{OH}))$	SiO_2 :70,39; Al_2O_3 :10,10; Fe_2O_3 :1,126; CaO :2,05; MgO , K_2O , Na_2O
Кварцевый песок месторождения Равшан II	Кварц ($a - \text{SiO}_2$), Кальцит (CaCO_3) , гематит (Fe_2O_3)	SiO_2 :91,071; Al_2O_3 :1,234; Fe_2O_3 :1,126; CaO :2,05.

30

II. Большинство дифракционных максимумов соответствуют кварцевой фазе и характеризуется высокой интенсивностью. В частности, основной максимальный пик при $2\theta \approx 26,6^\circ$ соответствует плоскости (101), характерной для кварца, что подтверждает его высокое содержание в образце. Установлено, что образец содержит 96,56% кварца, 3,44% кальцита. Последнему соответствуют дифракционные пики сравнительно низкой интенсивности.



a



b

Электронно-микроскопическое изображение микрокремнезёма (рисунок 3б) демонстрирует равномерно распределённые микрочастицы, которые становятся более отчётливо различимыми при увеличении масштаба изображения. Установлено, что размер частиц достигает 20 мкм.

Рис. 3. Рентгенограмма микрокремнезёма (а) и изображение электронно-микроскопического анализа (b)

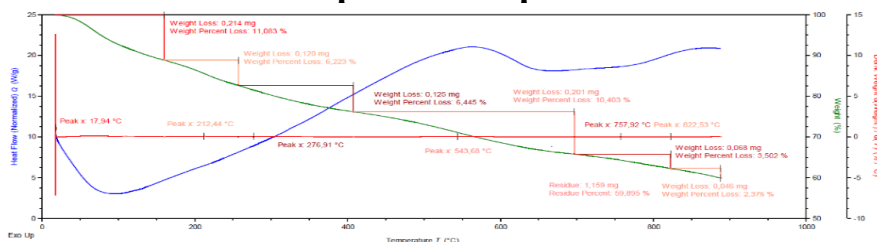


Рис. 4. Дериватограмма микрокремнезёма

Согласно результатам ТГА-анализа микрокремнезёма, первоначальная потеря массы наблюдалась при температуре 17,94°C, что связано с удалением гидратированной и адсорбированной воды. Потеря массы на следующем этапе составила 11,083% (0,214 мг). Основной процесс дегидроксилирования наблюдался в интервале температур 212,44–276,91°C и связан с удалением гидроксильных групп Si–ОН из аморфного диоксида кремния. На данном этапе дополнительная потеря массы составила 6,223% (0,120 мг) + 6,445% (0,125 мг). Разложение органических примесей и углеродсодержащих соединений наблюдалось в интервале температур 543,68–757,92°C. При этом потеря массы составила 10,403% (0,201 мг), что связано с дальнейшей структурной перестройкой материала. Заключительный этап структурных изменений наблюдался при температуре 822,53°C, что свидетельствует о возможной кристаллизации аморфного SiO₂ в кристобалит или тридимит. На данном этапе суммарная потеря массы составила 3,502% (0,068 мг). Сохранение остаточной массы на уровне около 59,895% при температуре ~1000°C свидетельствует о высокой термостабильности микрокремнезёма. Экзотермический эффект, наблюдаемый при температуре 757,92°C, указывает на наличие фазового перехода аморфного диоксида кремния.

Поскольку содержание SiO_2 в кварцевом песке составляло 91,07%, для получения раствора силиката натрия на основе твёрдофазного силиката натрия возникла необходимость в его обогащении. Для обогащения кварцевого песка был использован гравитационный метод, в результате которого содержание SiO_2 было повышено до 97,5% (рисунок 5).



Рисунок 5. Схема гравитационного обогащения кварцевого песка месторождения Равшан II

1-кварцевый песок; 2- дозатор;

3- сито; 4- смеситель;

5- классификатор;

6- электромагнитный сепаратор;

7- центрифуга.

Как видно из данных, приведённых в таблице 4, содержание SiO_2 увеличилось с 91,07% до 97,55%. После магнитной сепарации содержание оксидов железа Fe_2O_3 снизилось с 1,12% до 0,71%, а содержание Al_2O_3 уменьшилось с 1,23% до 0,51%.

Таблица 4

Химический состав кварцевого песка в процессе обогащения

Образцы	Изменение содержания основных оксидов, %							Марка песка по ГОСТ 55222-77
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	
Исходный образец								
К-К1	91,07	1,23	1,12	2,05	0,50	0,73	0,44	PB-150-1
Образец после промывки в смесителе								
К-К2	94,40	0,95	1,10	1,12	0,38	0,70	0,32	PB-100-1
Промытый и классифицированный песок								
К-К3	95,17	0,52	1,08	0,42	0,29	0,37	0,30	S-070-2
Промытый, классифицированный и отсортированный в магнитном поле песок								
К-К4	97,50	0,44	0,68	0,40	0,28	0,36	0,29	VS-030-2

В результате анализа диаграммы состояния системы $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{--SiO}_2$ установлено, что между компонентами происходят сложные фазовые взаимодействия с образованием различных соединений силикатов натрия. В области диаграммы, обогащённой карбонатом натрия, температура плавления Na_2CO_3 составляет 851°C, что соответствует литературным данным.

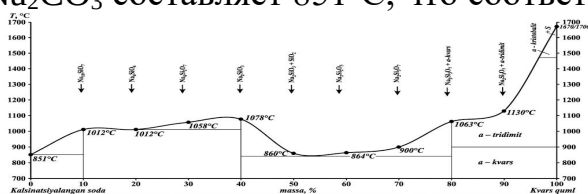


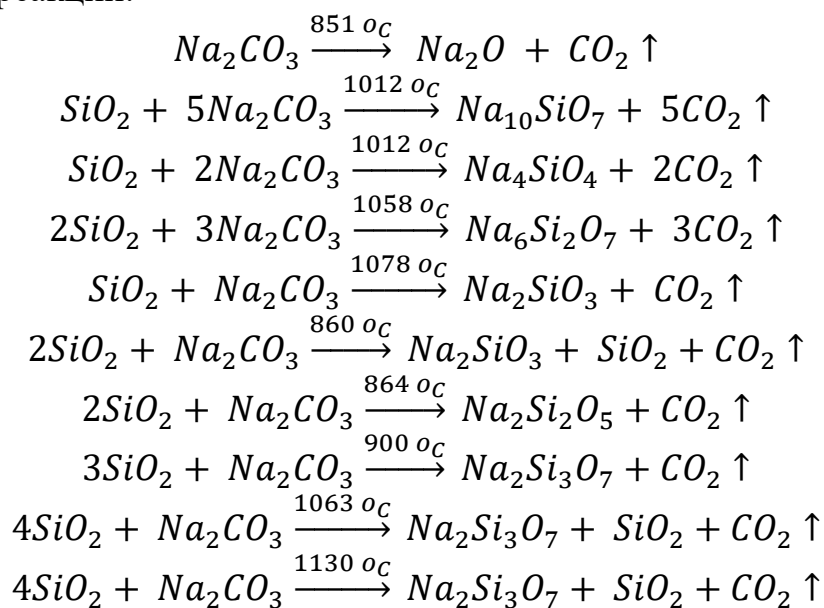
Рисунок 6. Диаграмма фазовых соотношений в системе «кварцевый песок– кальцинированная сода»

В области состава, содержащего 90 мас.% Na_2CO_3 и 10 мас.% SiO_2 , наблюдается область образования пентанатрий ортосиликата ($\text{Na}_{10}\text{SiO}_7$), при этом при температуре 1012°C зафиксирован локальный максимум линии

ликвидуса. При той же температуре в составе 80 мас.% Na_2CO_3 и 20 мас.% SiO_2 установлено присутствие фазы тетранатрий ортосиликата (Na_4SiO_4). При соотношении 70 мас.% Na_2CO_3 и 30 мас.% SiO_2 формируется фаза тринатрий дисиликата ($\text{Na}_6\text{Si}_2\text{O}_7$), а максимум ликвидуса наблюдается при 1058°C . В составе, содержащем 60 мас.% Na_2CO_3 и 40 мас.% SiO_2 , образуется метасиликат натрия (Na_2SiO_3), при этом один из наиболее высоких максимумов диаграммы зафиксирован при 1078°C . Данное обстоятельство свидетельствует о высокой термической стабильности фазы Na_2SiO_3 в системе.

В составе 50 мас.% Na_2CO_3 и 50 мас.% SiO_2 при температуре 860°C установлена эвтектическая точка, при которой наблюдается одновременная кристаллизация жидкой фазы в несколько твёрдых фаз. В области состава 40 мас.% Na_2CO_3 и 60 мас.% SiO_2 определена область образования дисиликата натрия ($\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$), а при 864°C зафиксирован второй эвтектический минимум. При содержании 30 мас.% Na_2CO_3 и 70 мас.% SiO_2 образуется фаза трисиликата натрия ($\text{Na}_2\text{Si}_3\text{O}_7$), температура ликвидуса которой составляет 900°C . В составе 20 мас.% Na_2CO_3 и 80 мас.% SiO_2 наблюдается максимум ликвидуса при температуре 1063°C . Данная область характеризуется двухфазной областью равновесия $\text{Na}_2\text{Si}_3\text{O}_7$ и α -кварца.

Для состава, содержащего 10 мас.% Na_2CO_3 и 90 мас.% SiO_2 , зафиксирован максимум при температуре 1130°C . Данное значение близко к температуре 1140°C , приведённой в литературных источниках, и характеризуется совместным присутствием фаз α -кварца и α -тридимита. В области, богатой SiO_2 , с повышением температуры происходят полиморфные превращения α -кварц $\rightarrow$ α -тридимит $\rightarrow$ α -кристобалит. В процессе высокотемпературного синтеза силикатов натрия протекают следующие химические реакции:



Для синтеза силикатов натрия на основе трёх компонентов по правилу рычага было подготовлено 17 образцов различного состава. Образцы на диаграмме (а) обозначены в соответствии с их составами.

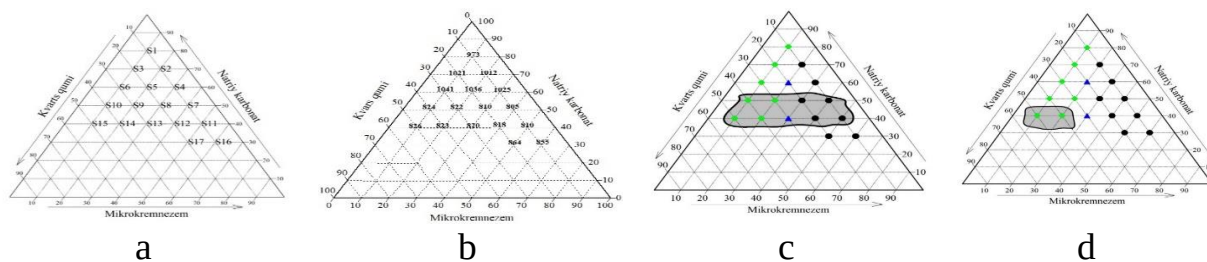


Рисунок 7. Диаграмма фазовых соотношений тройной системы «кальцинированная сода – микрокремнезём – кварцевый песок»

На диаграмме (b) указаны температуры их плавления. На диаграмме, представленной на рисунке (c), выделены области образования силикатов натрия, а также отражён внешний вид образцов в процессе их синтеза. Оптимальные составы для синтеза силикатов натрия на основе данных композиций представлены на диаграмме (d).

Согласно результатам рентгенофазового анализа, в образцах состава 30:70, 40:60 и 50:50 мас.% на основе кальцинированной соды и кварцевого песка месторождения Равшан II образовались твёрдые растворы силикатов натрия.

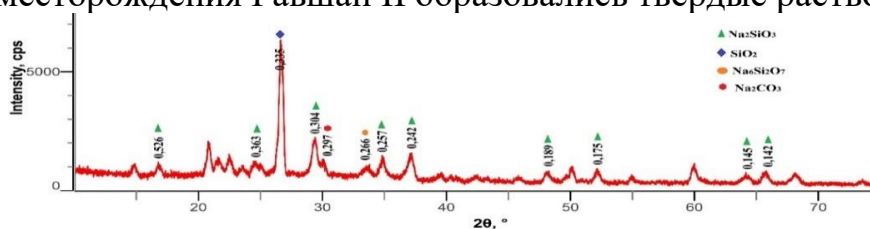


**Рисунок 8.
Рентгенограмма
образца СМК–14**

Результаты сопоставления дифракционных максимумов на рентгенограмме образца СМК–14 подтвердили, что увеличение содержания микрокремнезёма оказывает существенное влияние на фазовый состав образцов. На дифрактограмме образца СМК–14 наблюдались дифракционные максимумы, характерные для фазы метасиликата натрия, при значениях $2\theta = 16,81^\circ$ ($d = 0,526$ нм), $24,53^\circ$ ($d = 0,363$ нм), $29,38^\circ$ ($d = 0,304$ нм), $34,87^\circ$ ($d = 0,257$ нм), $37,09^\circ$ ($d = 0,242$ нм), $48,07^\circ$ ($d = 0,189$ нм), $52,10^\circ$ ($d = 0,175$ нм), $64,16^\circ$ ($d = 0,145$ нм) и $65,67^\circ$ ($d = 0,142$ нм).

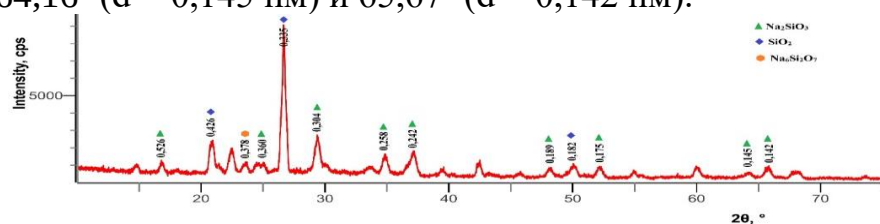


**Рисунок 9.
Рентгенограмма
образца СМК–15**

На рентгенограмме образца СМК–15 дифракционные максимумы были зафиксированы при следующих значениях: пики, характерные для фазы метасиликата натрия, наблюдались при $2\theta = 16,82^\circ$ ($d = 0,526$ нм), $24,73^\circ$ ($d = 0,360$ нм), $29,35^\circ$ ($d = 0,304$ нм), $34,81^\circ$ ($d = 0,258$ нм), $37,06^\circ$ ($d = 0,242$ нм), $48,19^\circ$ ($d = 0,189$ нм), $52,07^\circ$ ($d = 0,175$ нм), $64,23^\circ$ ($d = 0,145$ нм) и $65,78^\circ$ ($d = 0,142$ нм). Кроме того, при $2\theta = 20,84^\circ$ ($d = 0,426$ нм), $26,61^\circ$ ($d = 0,335$ нм) и $50,10^\circ$ ($d = 0,182$ нм) зарегистрированы дифракционные максимумы, относящиеся к фазе кварца, а при $2\theta = 23,53^\circ$ ($d = 0,378$ нм) – максимумы, характерные для фазы пиросиликата натрия.

При DSC–анализе состава СК–6 эндотермические и экзотермические эффекты, зарегистрированные в диапазоне температур 85–400°C, объясняются удалением адсорбционной воды и разложением гидроксильных групп. Интенсивные экзотермические эффекты, наблюдаемые в интервале 450–800°C, соответствуют превращению кварца в силикаты натрия в присутствии карбоната натрия и образованию новых кристаллических фаз. Эндотермический процесс, зафиксированный при 836,8°C, связан с полиморфными превращениями промежуточных фаз, а также с процессом дегазации. Экзотермические эффекты, выявленные при температурах выше 1000°C, свидетельствуют о формировании в системе жидкофазной стеклообразной структуры силикатов натрия.

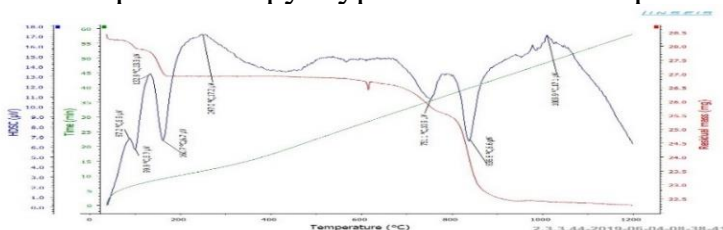


Рис. 10. Дериватограмма состава SK–6

На следующем этапе исследований был изучен DSC–анализ состава СКМ–14 (рисунок 11).

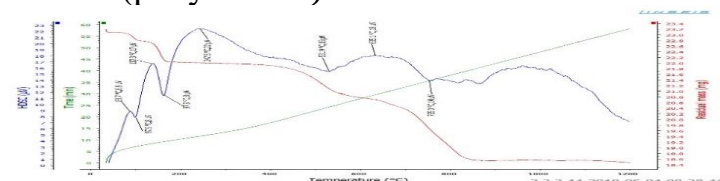


Рис. 11. Дериватограмма состава SKM–14

На последующих этапах исследований были получены инфракрасные спектры экспериментальных образцов синтезированного силиката натрия. В качестве объекта исследования был выбран образец СК–6, для которого первоначально была получена инфракрасная спектрограмма.

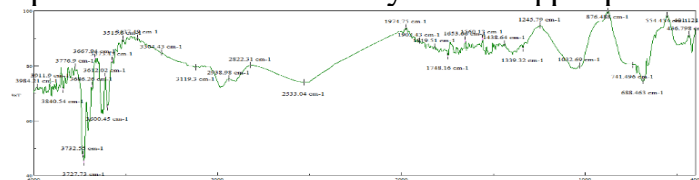


Рис. 12. Инфракрасный спектр образца SK–6

На спектрограмме образца СК–6 узкие высокочастотные полосы при 3732, 3691, 3667 и 3610 cm^{-1} относятся к гидроксильным группам Si–OH, тогда как широкая полоса в области 3519–3193 cm^{-1} соответствует молекулам гидроксильных групп –OH, связанным водородными связями. Полосы при 1245 и 1139 cm^{-1} соответствуют деформационным колебаниям, характерным для силикатов, и отражают наличие связей Si–O–Si в структуре силиката натрия. Колебания при 1022 cm^{-1} свидетельствуют о присутствии групп Si–O–Na, координированных с натрием, что является характерным признаком силиката натрия. Согласно результатам электронно-микроскопических исследований, во всех образцах СК–6, СКМ–13, СКМ–14 и СКМ–15 основную массу составляет стеклообразная фаза. Однако при исследовании их внешнего вида и силикатного модуля установлено, что наиболее оптимальными по требованиям государственных стандартов и экономическим показателям являются составы СКМ–14 и СКМ–15.



SK-6



SMK-13



SMK-14



SMK-15

Рисунок 13. Оптические микроскопические изображения ($\times 100$) образцов силикатов натрия системы «кварцевый песок – микрокремнезём – карбонат натрия»

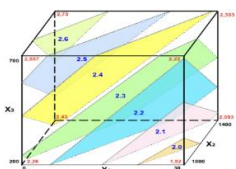


Рис. 14. Изопараметрические диаграммы отклика общего энергопотребления при получении жидкого стекла

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие основные выводы: условие $G_p < G$ ($0,3062 < 0,871$) свидетельствует о воспроизводимости проведённых экспериментов; условие $F_p < F_k$ ($0,00004341 < 0,300526$) подтверждает адекватность разработанной математической модели.

В четвёртой главе диссертации, озаглавленной «Синтез раствора натриевого силиката, его физико-химические свойства и ожидаемая экономическая эффективность внедрения», приведены результаты лабораторного синтеза раствора натриевого силиката и исследования его физико-химических свойств. Кроме того, разработаны усовершенствованный способ синтеза высокомолекулярных натриевых силикатов с использованием местных кварцевых песков и техногенных отходов, а также выполнена оценка ожидаемой экономической эффективности его внедрения.

Таблица 5

Этапы получения раствора силиката натрия гидротермальным методом

№	Наименование и последовательность процесса	Физико-технические показатели процесса
1-й этап – механическая обработка кусков силиката натрия		
1	Крупное измельчение, мм	5
2	Тонкое измельчение, мм	0,1 – 0,3
3	Продолжительность процесса, мин	20 – 50
2-й этап – процесс растворения силиката натрия		
1	Масса растворимого стекла, взвешенная на технических весах, г	1000
2	Объём расходуемой воды, мл	3000
3	Температура процесса, °C	95
5	Скорость перемешивания, об/мин ⁻¹	700
3-й этап – регулирование физических показателей раствора силиката натрия		
1	Плотность, г/см ³	1,46 – 1,52
2	Вязкость, мПа·с	85-145

На следующем графике представлено влияние размера частиц и количества воды на процесс растворения растворимого стекла во времени (рисунки 16а и 16б). Научно обосновано и экспериментально подтверждено, что оптимальным условием для синтеза раствора силиката натрия является соотношение 1 кг кускового силиката натрия на 3 литра воды. При увеличении данного соотношения наблюдается выщелачивание щёлочи и образование труднорастворимого осадка диоксида кремния. Установлено, что размер кусков силиката натрия оказывает существенное влияние на скорость реакции: чем меньше размер частиц, тем больше их удельная поверхность и тем быстрее протекает процесс растворения.

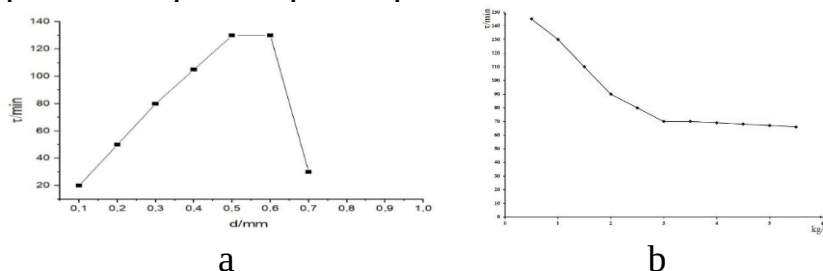


Рисунок 15. Влияние (а) размера частиц и (б) расхода воды на процесс растворения силиката натрия во времени

Гидратация – образование гидратированных соединений в результате воздействия молекул воды на силикатные молекулы. Процесс сопровождается выделением тепла и укрупнением гидратированных частиц. Оптимальным условием получения жидкого стекла научно обосновано соотношение: 3 литра воды на 1 кг стекла; это подтверждено экспериментально. При увеличении количества воды наблюдается вымывание щёлочи и образование труднорастворимого осадка диоксида кремния. Чем меньше размер частиц растворимого стекла, тем больше их удельная поверхность и тем выше скорость реакции. $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + m\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 2\text{NaOH} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$.

Растворение – начальное растворение гидратированных частиц. Гидролиз – разложение гидратированных щёлочных силикатов с образованием свободной каустической соды: $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + m\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 2\text{NaOH} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot (m-1)\text{H}_2\text{O}$.

Пептизация – переход диоксида кремния в коллоидный раствор под действием каустической соды. Электролитическая диссоциация – распад гидратированных щёлочных силикатов на ионы:

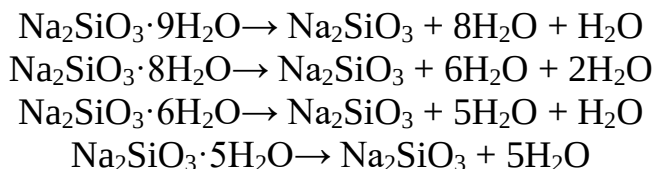
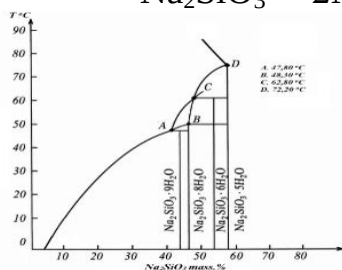
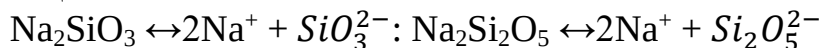


Рисунок 16. Диаграмма соотношений силикатов натрия в системе $\text{Na}_2\text{SiO}_3\text{--H}_2\text{O}$

На основе этих стадий предложена технологическая схема получения силиката натрия, представленная на рис. 17.

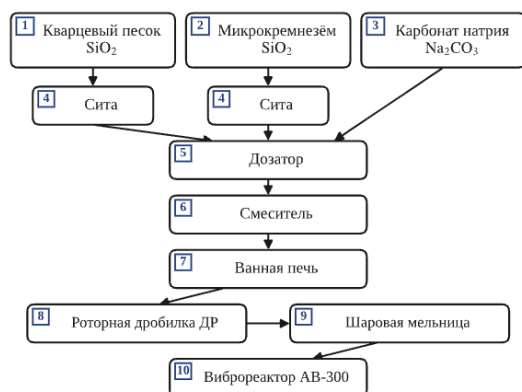


Рисунок 17. Способ синтеза силиката натрия и его раствора

1, 2, 3 - сырьевые материалы;
 4 - сита; 5 - дозатор; 6 - смеситель; 7 -
 ванная печь; 8 - роторная дробилка ДР;
 9 - шаровая мельница; 10 -
 виброреактор АВ-300.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Комплексно исследованы химический, минералогический и гранулометрический составы кварцевых песков месторождений Равшан II и Кушкупыр, а также микрокремнезёма, являющегося отходом производства ферросилиция АО «Узметкомбинат». Установлено, что данные материалы являются перспективными источниками сырья для синтеза силикатов натрия.

2. Разработан гравитационный способ обогащения кварцевого песка месторождения Равшан II, эффективность которого подтверждена экспериментально. В результате обогащения содержание SiO_2 увеличилось с 91,07 мас.% до 97,50 мас.%.

3. Исследованы закономерности образования силикатов натрия в системах «кварцевый песок – карбонат натрия» и «кварцевый песок – микрокремнезём – карбонат натрия», установлены и теоретически обоснованы механизмы протекания реакций, их кинетические особенности и функциональные зависимости фазовых превращений.

4. Определена роль микрокремнезёма в синтезе силикатов натрия. Доказано, что его использование в качестве дополнительного компонента способствует интенсификации процесса образования силикатов натрия, позволяет регулировать фазовый состав и снижает расход природного кварцевого песка.

5. Выполнено математическое моделирование взаимного влияния параметров состава сырья и энергозатрат, на основе которого определены энергетически оптимальные технологические режимы синтеза силикатов натрия.

6. Комплексно исследованы процессы плавления силикатной массы и получения раствора силиката натрия. Установлено, что при получении раствора силиката натрия гидротермальным методом размер частиц оказывает существенное влияние на эффективность процесса.

7. Разработан усовершенствованный способ получения силикатов натрия в системе «кварцевый песок – микрокремнезём – карбонат натрия». Данный способ обеспечивает эффективное использование местного сырья и техногенных отходов, внедрение ресурсосберегающих технологий и получение высокомодульных силикатов натрия.

**ON-TIME SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING OF SCIENTIFIC
DEGREE DSc.05/2025.27.12.K/T.19.01 AT INSTITUTE OF
GENERAL AND INORGANICAL CHEMISTRY**

KHOREZM MA'MUN ACADEMY

MADAMINOV DILSHODBEK KURANBOEVICH

**SYNTHESIS AND PROPERTIES OF SODIUM SILICATE IN THE
SYSTEM “QUARTZ SAND – MICROSILICA – CALCINED SODA**

02.00.15 – Technology of silicate and refractory non-metallic materials

**DISSERTATION ABSTRACT
for the doctor of philosophy (PhD) chemical sciences**

Tashkent – 2026

The topic of the dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in Chemical Sciences was registered with the Higher Attestation Commission under the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan under registration number B2026.2.PhD/K1231.

The dissertation work was carried out at the Khorezm Mamun Academy.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian, english (resume)) on the scientific website page of the Scientific Council www.ionx.uz and on the information of "ZiyoNet" Information and educational portal www.ziyo.net.

Scientific supervisor:

Yunusov Mirdjalil Yusupovich
doctor of technical sciences, professor

Official opponents:

Zulayho Raimovna Qodirova
Doctor of Chemical Sciences, Professor

Xidir Abdullayevich Adinayev
Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor

Lead organization:

Berdakh Karakalpak State University

The defense of the thesis will take place «29» october 2026 at 15:00 hours at a meeting of the DSc Scientific Council DSc.05/2025.27.12.K/T.19.01 at the Institute of General and Inorganic Chemistry at the address: (Address: 100170, Tashkent, Mirzo Ulugbek St., 77-a. Tel.: (+99871) 262-56-60; fax: (+99871) 262-79-90, e-mail: ionx@academy.uz).

The dissertation can be found at the information and resource center of the Institute of General and Inorganic Chemistry (indicated under the number 17). (Address: 100170, Tashkent, Mirzo Ulugbek st., 77-a. Tel.: (99871) 262-56-60; fax: (+99871) 262-79-90, e-mail: ionx@academy.uz).

The abstract of the dissertation was sent out «15» october 2026.
(registry of the mailing protocol №17 dated «15» october 2026.



A.B. Ibragimov
Chairman of the one-time scientific council for the award of an academic degree, d.c.s., prof.

B.Z. Adizov
Scientific secretary of the one-time scientific council for the award of an academic degree, d.t.s., prof.

F.B. Atabaev
Chairman of a one-time scientific seminar with a one-time scientific council for the award scientific degree, d.t.s., prof.

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The purpose of the research – is to synthesize sodium silicates by thermal and hydrothermal methods based on local mineral raw materials and secondary resources, and to investigate their physicochemical properties.

The object of the study – includes quartz sands from the Kushkupir and Ravshan II deposits, microsilica waste generated during ferrosilicon production at JSC “Uzmetkombinat”, and calcined soda produced by LLC “Kungrad Soda Plant”.

The scientific novelty of the research is as follows:

a gravitational beneficiation method for quartz sand from the Ravshan II deposit was developed, resulting in an increase of SiO_2 content from 91,07 wt.% to 97,50 wt.% and a decrease in the contents of Al_2O_3 , Fe_2O_3 , and CaO impurities;

the regularities of sodium silicate formation, formation stages, kinetics, and reaction mechanisms in the systems “quartz sand–sodium carbonate”, “microsilica–sodium carbonate”, and “quartz sand–microsilica–sodium carbonate” were established and theoretically substantiated;

the phase transformation stages of sodium orthosilicate (Na_4SiO_4), sodium metasilicate (Na_2SiO_3), and sodium disilicate ($\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$) were determined based on optimal compositions;

the functional relationship between composition, phase composition, and physicochemical properties during the solid-state synthesis of sodium silicates in the “quartz sand–microsilica–sodium carbonate” system was established;

it was substantiated that the particle size of sodium silicates significantly affects the efficiency of sodium silicate solution production by the hydrothermal method, and optimal process parameters were determined;

an improved method for producing sodium silicates in the “quartz sand–microsilica–sodium carbonate” system was developed, enabling the production of high-modulus sodium silicates suitable for industrial and construction applications.

Implementation of research results. The method for obtaining beneficiated quartz concentrate from quartz sand was implemented at LLC “To‘rtko‘l Shisha Idishlari”;

The technology for producing sodium silicates based on quartz sand, microsilica, and sodium carbonate was included in the list of prospective developments for industrial implementation at JV LLC “Xorazm Shisha Idishlari”;

The developed technology makes it possible to synthesize sodium silicates from local mineral raw materials and technogenic waste and to produce import-substituting products.

The structure and volume of the thesis –The thesis consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The total volume of the dissertation is 112 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YHATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim (I часть; part I)

1. Madaminov D.K., Lesovik V.S., Zagorodniuk L.Kh., Yunusov M.Yu., Ruzmetova A.Sh., Djumaniyazov Z.B. Dune sands from the kushkupy deposit (uzbekistan) for the production of sodium silicate based on a microsilica – dune sand – caustic soda system // Glass and Ceramics, 2026, Vol. 82, № 9-10, WoS (4), Scopus (4) – IF-0,12. <https://doi.org/10.1007/s10717-026-00802-z>

2. Madaminov D.K., Babayev Z.K. Obtaining lime-clay binder from overroof and silicate brick based on it // Electronic journal of actual problems of modern science, education and training. 2021. – №11/2. – P. 57-62. (02.00.00, №15). <https://docs.google.com/viewer?url=https%3A%2F%2Fkhorezmscience.uz%2Findex.php%3Fdo%3Ddownload%26id%3D1270%26viewonline%3D1>

3. Madaminov D.K., Yunusov M.Yu., Ruzmetova A.Sh. Study of properties of barhanna sands of Kushkupy deposit for production of heat-resistant composite based on them // Композиционные материалы, 2025. – №1. С. 111-113. (02.00.00, №4). https://www.gupft.uz/uploads/files/JCM/2025-1/031_Journal_KM_2025-1_111.pdf

4. Мадаминов Д.К., Юнусов М.Ю., Рузметова А.Ш. Комплексное исследование промышленного отхода – микрокремнезема для получения растворимого стекла // Universum: технические науки, 2025. – №4/133. – С. 38-42. (02.00.00, №1). <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/19909>

5. Мадаминов Д.К. Обогащение барханных песков кушкупыра для производства жидкого стекла // Qurilish va ta'lim ilmiy jurnali, 2025. – №4. – С.200-205. (ОАК Rayosatining 2023 yil 31 oktyabrdagi 345-son qarori). <https://jurnal.qurilishtalim.uz/dannie/2025-yil%204-son.pdf>

6. Мадаминов Д.К., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Юнусов М.Ю., Рузметова А.Ш., Джуманиязов З.Б. Комплексное исследование барханных песков Кушкупырского месторождения для получения силиката натрия в системе микрокремнезем–барханный песок–каустическая сода // Стекло и керамика, 2025. – № 9. – С. 48-56. ResearchBib (14). <https://glass-ceramics.ru/ru/archivru/43-bez-rubriki/6541-rus-glc-2025-09-pp-048-056>

7. Madaminov D.Q., Atashev E.A., Matmuratov B.Y., Radjabov O.B., Masharipov R.M. Physicochemical Analysis of Water-Soluble Sodium Silicate Obtained from Modification Raw Materials // Complex Use of Mineral Resources, 2027. – №2, Vol.341(2). – P.128-135. WoS (2), Scopus (2). <https://kims-imio.com/index.php/main/article/view/632/574>

II бўлим (II часть; part II)

1. Мадаминов Д.К., Бабаев З.К. Қорақум бархан қумлари Жайхун кони хомашёсининг кимёвий, минерологик, гранулометриқ таркиби ва хоссалари //

«Ўзбекистонда илмий тадқиқотлар» мавзусидаги даврий анжуман, 2022 йил 30 июнь. – №41. – Б. 16-18. <https://doi.org/10.5281/zenodo.21929347>

2. Мадаминов Д.К., Юнусов. М.Ю., Рузметова А.Ш. Преимущества использования силиката натрия в жаростойких бетонах // Материалы международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания и использования высоких технологий переработки минерально-сырьевых ресурсов Узбекистана». – Ташкент, 16-17 ноября 2023 года. – С. 243. <https://doi.org/10.5281/zenodo.21930442>

3. Мадаминов Д.К., Юнусов М.Ю., Рузметова А.Ш. Эрувчан шиша таркибини яратишда хомашёларнинг термофизик-кимёвий хусусиятларини аниқлаш // Материалы международной научно-технической конференции «Инновационные разработки и перспективы развития химической технологии силикатных и высокотемпературных материалов». – Ташкент, 10-11 мая 2025 года. – С.187-190. <https://doi.org/10.5281/zenodo.21929089>

4. Мадаминов Д.К., Юнусов М.Ю., Рузметова А.Ш. Технология обогащения барханных песков месторождения Кушкупыр для синтеза жидкого стекла // Материалы международной конференции «Устойчивое развитие и зеленая экономика». ТОМ I. – Ташкент, 27–30 - мая 2025 года. – С. 124-125. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15581355>

5. Madaminov D.Q. Modern state of liquid glass production based on silicate rock // “Kimyo va kimyoviy texnologiya sohalarining dolzarb muammolari va istiqbollari” mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya materiallari. – Jizzax, 2025-yil 25–26- aprel. – B. 678-680. <https://doi.org/10.5281/zenodo.21929584>

6. Madaminov D.Q. Modifikatsion xom ashyolar asosida sintez qilingan eruvchan shishaning kimyoviy taxlili // “Muhandislik texnologiyalarida yechimlarni topishda tizimli fikrlash” mavzusidagi xalqaro ilmiy-texnikaviy anjuman to‘plami, 2025 yil, 16-17 oktabr. – B. 171-172. <https://doi.org/10.5281/zenodo.21929962>

7. Madaminov D.Q. Suyuq shishaning dunyo amaliyotida o‘rni va istiqbollari // “Fan va ishlab chiqarish sohalarida zamonaviy fizik-kimyoviy tadqiqot usullari integratsiyasi” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallar to‘plami. – Toshkent, 2025 yil, 17-18-oktyabr. – B. 438. <https://doi.org/10.5281/zenodo.21930103>

8. Madaminov D.Q., Yunusov M.Yu., Ruzmetova A.Sh. Kvars qumlarining kimyoviy va mineralogik tarkibini tadqiq qilish va ulardan silikat materiallar olishda xom ashyo sifatida baholash // “Muhandislik va qurilish: Innovatsiya, texnika va texnologiya, boshqa sohalar bilan integratsiyasi” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari. – Nukus, 2026-yil 16-mart. – B. 208-210. <https://doi.org/10.5281/zenodo.21930233>

Avtoreferat «O‘zbek kimyo» jurnalida tahrirdan o‘tkazilib, o‘zbek, rus va ingliz tillarida matnlar o‘zaro muvofiqlashtirilgan.

Bosmaxona litsenziyasi:



9338

Bichimi: 84x60 $\frac{1}{16}$. «Times New Roman» garniturası.
Raqamli bosma usulda bosildi.
Shartli bosma tabog'i: 3. Adadi 100 dona. Buyurtma № 21/26.

Guvohnoma № 851684.
«Tipograff» MCHJ bosmaxonasida chop etilgan.
Bosmaxona manzili: 100011, Toshkent sh., Alisher Navoiy ko'chasi, 36 uy.
Tel: +99894-600-44-07