

**KVARS QUMLARIDAN MAGNIYOTERMIK QAYTARISH USULIDA
TEXNIK KREMNIY OLISH TEXNOLOGIYASINI OPTIMALLASHTIRISH***Eshmurodov X.E., Jiyanova S.I., Suyunov J.R.**Termiz davlat universiteti**E-mail: jiyanovasayyora2021@gmail.com*

Annotatsiya. Ushbu ilmiy ishda Surxondaryo viloyatining Jarqo'rg'on, Termiz, Sherobod tumanlari hamda Uchqizil hududidagi kvars qumlarining kimyoviy tarkibi, ularni boyitish usullari va magniyotermik qaytarish orqali texnik kremniy (TK) olish jarayonlari o'rganildi. Kvars qumlari dastlab XRD (rentgen fazaviy tahlil) va XRF (rentgen-flouresans) usullarida tahlil qilinib, tarkibidagi SiO_2 miqdori va qo'shimcha aralashmalar aniqlandi. Magniyotermik qaytarish jarayonida $\text{SiO}_2\text{:Mg}$ mol nisbati (1:2, 1:3, 1:4, 1:7) va harorat (600-1800°C) hamda vaqt (2-10 soat) parametrlarining ta'siri o'rganildi. Eng yaxshi natija 800°C da 6 soat davomida 1:2 mol nisbatda olib borilgan tajribada qayd etildi, bunda texnik kremniyning tozaligi $\approx 87\%$ ga yetdi. Olingan mahsulot 773 markali kremniy sifatida siluminlar, ferrosilitsidlar va kremniyorganik birikmalar ishlab chiqarishda qo'llanilishi mumkin. Tadqiqot natijalari mahalliy xomashyodan sanoat uchun arzon va samarali texnik kremniy olish imkoniyatini ko'rsatdi.

Tayanch so'zlar: *elektr, energiya, kvarts, kvartsit, harorat, mineral, kremniy, qaytaruvchi, alyuminiy, magniy, uglerod, elektr pech.*

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО
КРЕМНИЯ ИЗ КВАРЦЕВОГО ПЕСКА МЕТОДОМ
МАГНИОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ***Эшмуродов Х.Э., Джиянова С.И., Суюнов Ж.Р.**E-mail: jiyanovasayyora2021@gmail.com*

Аннотация. В данной научной работе изучены химический состав кварцевых песков из районов Джаркурган, Термез, Шерабад и местности Учкызыл Сурхандарьинской области, методы их обогащения и процессы получения технического кремния (ТК) магнито-термическим восстановлением. Кварцевые пески были предварительно проанализированы методами РФА (рентгенофазовый анализ) и РФА (рентгено-флуоресцентный анализ) для определения содержания SiO_2 и примесей. В процессе магнито-термического восстановления изучено влияние мольного соотношения $\text{SiO}_2\text{:Mg}$ (1:2, 1:3, 1:4, 1:7), температуры (600-1800°C) и времени (2-10 ч) на выход и чистоту продукта.

Наилучший результат был получен при 800°C в течение 6 часов с мольным соотношением 1:2, при этом чистота технического кремния достигла $\approx 87\%$. Полученный продукт соответствует марке 773 и может быть использован для производства силуминов, ферросилицидов и кремнийорганических соединений. Результаты исследования показывают возможность получения недорогого и эффективного технического кремния из местного сырья для промышленного применения.

Ключевые слова: кварц, кварцит, минерал, кремний, восстановитель, магний, алюминий, углерод, электропечь.

OPTIMIZATION OF TECHNICAL SILICON OBTAINING TECHNOLOGY FROM QUARTZ SAND BY MAGNETOTHERMIC RECYCLING METHOD

Eshmurodov X.E., Jiyanova S.I., Suyunov J.R.
Termez State University,
E-mail: jiyanovasayyora2021@gmail.com

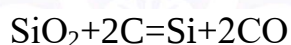
Abstract. This scientific work investigates the chemical composition of quartz sands from the Jarkurgan, Termez, Sherabad districts and the Uchkizyl area of the Surkhandarya region, their beneficiation methods, and the processes of producing technical silicon (TS) via magnesiothermic reduction. The quartz sands were preliminarily analyzed by XRD (X-ray diffraction) and XRF (X-ray fluorescence) methods to determine the SiO_2 content and impurity levels. During the magnesiothermic reduction process, the effects of molar ratio of $\text{SiO}_2\text{:Mg}$ (1:2, 1:3, 1:4, 1:7), temperature (600-1800°C), and time (2-10 h) on the product yield and purity were studied. The best result was achieved at 800°C for 6 hours with a molar ratio of 1:2, where the purity of technical silicon reached $\approx 87\%$. The obtained product corresponds to grade 773 and can be used in the production of silumins, ferrosilicides, and organosilicon compounds. The research results demonstrate the feasibility of producing low-cost and efficient technical silicon from local raw materials for industrial applications.

Keywords: quartz, quartzite, mineral, silicon, reducing, magnesium, aluminum, carbon, electric furnace.

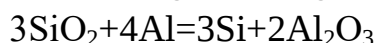
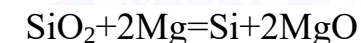
Kirish. Elektr energiyasi insonlar hayotida muhim o'rin tutadi. Oxirgi yillarda aholi sonining oshib borishi, sanoatning kengayishi, ishlab chiqarish hajmlarining ortishi, elektrlashtirish va avtomatlashtirish, energiyadan foydalanish miqdorining keskin ortishiga sabab bo'lmoqda. Bu esa atrof-muhitga, tabiatga salbiy ta'sir

ko'rsatmoqda. Chunki iqlimning dunyo miqyosida global isib ketishi yoqilg'ining organik turlaridan foydalanadigan issiqlik elektr stantsiyalarining ishlashi natijasida yuzaga keladigan, shuningdek, tobora ko'payib borayotgan ichki yonish dvigatellaridan atmosferaga chiqarayotgan gazlar bilan ham bevosita bog'liq. Bundan tashqari neft, tabiiy gaz, ko'mir va uran kabi an'anaviy energiya manbalarining zahirasi cheklangan. Shuning uchun, qayta tiklanadigan energiya manbalaridan (QTEM) foydalanish tobora rivojlanib bormoqda. Kremniy nafaqat yarimo'tkazgich sanoatining asosi, balki metallurgiya, kimyo va qurilish materiallari sohalarida ham keng qo'llaniladi. O'zbekiston hududida kvars va kvarsit konlari yetarlicha bo'lib, ulardan texnik kremniy ishlab chiqarish import o'rnini bosuvchi muhim mahsulot hisoblanadi. Shu sababli, mahalliy xomashyoni chuqur qayta ishlash texnologiyalarini rivojlantirish milliy iqtisodiyot va energiya xavfsizligi uchun strategik ahamiyatga ega. Ushbu maqolada aynan shu yo'nalishdagi tajriba natijalari keltirilgan.

Qayta tiklanuvchi energiya manba (QTEM) laridan samarali foydalanish masalasi zamonaviy ilm-fan va texnologiyaning eng dolzarb yo'nalishlaridan biriga aylanib bormoqda. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari — bu tabiiy jarayonlar natijasida doimiy ravishda yangilanib turadigan energiya manbalari bo'lib, ular qatoriga quyosh, shamol, biomassa, geotermal issiqlik va gidroenergiya kiradi. Ushbu manbalar inson faoliyatining atrof-muhitga salbiy ta'sirini kamaytirish, energiya xavfsizligini ta'minlash va barqaror rivojlanishni qo'llab-quvvatlashda muhim o'rin tutadi. [1-5]. Quyosh energiyasidan foydalanish QTEM ning eng samaralisi hisoblanadi. Bugungi kunda bozordagi 90% dan ortiq quyosh elementlari kremniy asosida yasalgan. Agar er qobig'idagi kremniy massasi bo'yicha kisloroddan keyin ikkinchi o'rinda turishini nazarga olsak, kelajakda kremniyli quyosh elektr stantsiyalari QTEM asosiy manbai hisoblanadi [6]. Tabiatda asosan kremniy (IV) oksid va silikat kislotaning tuzlari - silikatlar holida uchraydi. Ular er po'stlog'ining qobig'ini hosil qiladi. Sanoatda kremniy elektr pechlarda SiO_2 ni koks bilan qaytarish orqali olinadi:



Laboratoriyada qaytaruvchilar sifatida magniy va alyuminiydan foydalanish mumkin:



Shuningdek, laboratoriya va sanoatda kvarts minerallari va qumdan toza kremniyni alyuminiy yordamida qaytarib olish usuli ham qo'llaniladi. Magniyotermik qaytarish usuli boshqa metallotermik usullarga nisbatan past haroratda ($600-1000^\circ\text{C}$) borishi, arzonligi va jihozlar soddaligi bilan ajralib turadi. Biroq bu usulda reaksiya davomida Mg_2Si (magniy silisidi) kabi nojo'ya mahsulotlar hosil bo'lishi mumkin. Bu muammoni bartaraf etish uchun boshlang'ich moddalar nisbatini to'g'ri tanlash, harorat va vaqtni optimallashtirish, shuningdek, keyingi kislotali ishlov berish

bosqichlari muhim ahamiyat kasb etadi [7, 8]. Xalqaro tajribada $\text{SiO}_2\text{:Mg}$ nisbati 1:2 dan 1:4 gacha o'zgargan holda, 650-900°C oralig'ida 4-8 soat davomida qaytarish samarali natijalar bergani qayd etilgan [9, 10].

Tadqiqotning asosiy maqsadi Surxondaryo viloyati kvars qumlarini magniyotermik qaytarish usuli bilan qayta ishlab, texnik kremniy olish texnologiyasini ishlab chiqish, jarayonning optimal parametrlarini (harorat, vaqt, moddalar nisbati) aniqlash va olingan mahsulotning fizik-kimyoviy xossalarini baholash.

Tadqiqot vositalari va usullari. Ushbu tadqiqot ishida Surxondaryo viloyatining Jarqo'rg'on, Sherobod tumanlari hamda Uchqizil hududidan olingan qumdagi kremniy miqdorlari, qumni boyitishning turli usullari o'rganildi va uning tarkibidagi kremniy miqdori aniqlanib, hozirgacha bo'lgan ma'lumotlar bilan solishtirildi. Kvars qumlari avval 0.5 mm li elakda elanib, so'ngra agat ohakda 100-150 mikrongacha maydalandi. Maydalangan qumning kimyoviy tarkibi XRF analizatori (Bruker S8 TIGER) va XRD diffraktometri ($\text{CuK}\alpha$, $\lambda=1.5406 \text{ \AA}$) yordamida aniqlandi. Magniy kukuni ($\geq 99.5\%$ tozalikda) savdo markasidan olindi. Aralashmalar tayyorlashda analitik tarozida (0.0001 g aniqlikda) tortildi. Presslash 20 MPa bosimda, diametri 20 mm bo'lgan tabletkalar shaklida amalga oshirildi. Vakuum yaratish uchun 2Pa bosimgacha nasos yordamida argon tortib olindi. Harorat nazorati Pt-PtRh termojufti yordamida amalga oshirildi.

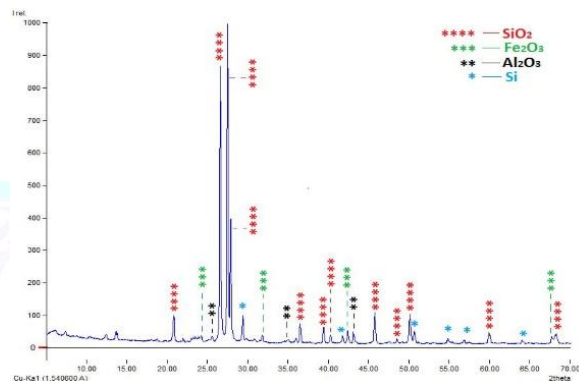
Kvars qumi - silikatlar sinfiga mansub eng ko'p tarqalgan mineral. Kimyoviy formulasi SiO_2 . Kvarsning kristallining 2 ta modifikatsiyasi ma'lum: geksagonal kvars 870-573°C harorat oralig'ida turg'un va trigonal Kvars 573°C dan pastda turg'un. Qattikligi 7 Zichligi 2,65 g/sm³. Suyuqlanish harorati 1710°C, soviganda kvars oynasi deb ataluvchi jismga aylanadi. Kvarsning sanoat sintezi 1957 yildan beri yo'lga qo'yilgan [8].

Magniy (Magnesium, Mg) - Davriy sistemaning II guruhiga mansub kimyoviy element; ishqoriy - er metallarga kiradi. Tartib raqami 12, atom massasi 24,305. Magniyni 1829-yilda fransuz kimyogari Magniy Byussi magniy xloridga kaliy bug'i ta'sir ettirib, magniyni metall holida ajratib olgan. Magniy massa jihatidan er po'stlog'ining 2,35% ni tashkil qiladi [9,10].

Tadqiqot metodikasi. Magniyotermik usulda texnik kremniy olish uchun kremniy oksidi va magniy metali ($\frac{\text{SiO}_2}{\text{Mg}}$) 2:1, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:7 mol nisbatlarda olindi. Tayyor reaksiya aralashma yuqori bosimli press yordamida tabletkalar shaklida presslandi. Har bir namuna kvars shisha idishlarga solinib, ichidagi havoni chiqarish maqsadida dastlab argon gazi bilan to'ldirildi va vermukilit asosida tayyorlangan olovbardosh elim bilan ikki tomonlama germetiklandi. Shundan so'ng vakuumli sharoit hosil qilish uchun havo tortuvchi nasos bilan argon tortib olindi. Mazkur tadqiqot ishida magniy va kvars qumi o'rtasidagi reaksiya 600°C, 800°C, 1000°C,

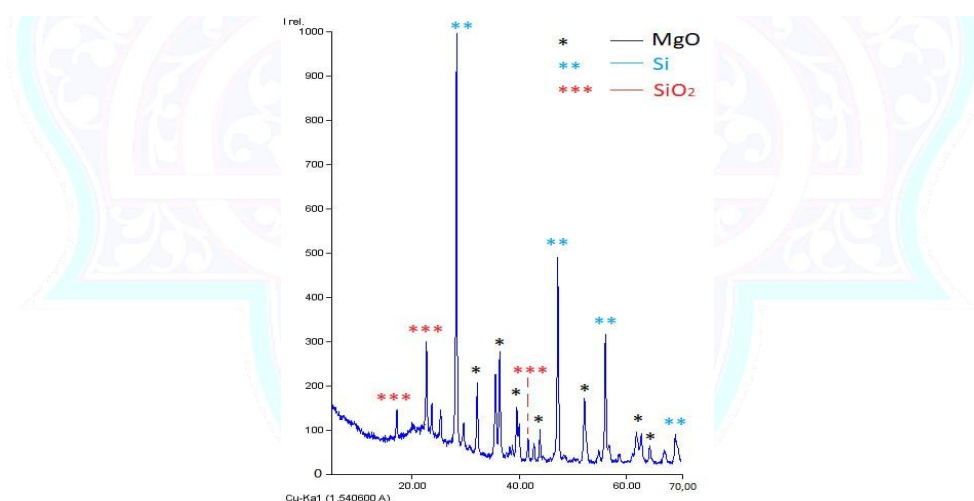
1200°C, 1400°C, 1600°C, 1800°C haroratlarda 2, 4, 6, 8, 10 soat davomida olib borildi. 1200°C gacha haroratlardagi reaksiyalar elektr pechda, 1400-1800°C haroratlardagi reaksiyalar esa, elektr yoy pechda o'tkazildi.

Natijalar tahlili. Dastlab boyitilmagan kvarts qumlari ustida Rentgenfazaviy tahlil o'tkazildi.



1-rasm. Kvarts qumining boyitilmagan holatdagi rentgen fazaviy strukturasi

Tahlil natijalarida kvarts qumi tarkibida kremniy (IV) oksididan tashqari turli metall birikmalari mavjudligi aniqlandi. Rasmdan ko'rinib turibdiki, rentgen nuri 25°-30° burchak ostida tushganda SiO₂ miqdori eng ko'p bo'lgan. Bundan tashqari ishlov berilmagan qumda 96% SiO₂ va qolgan aralashmalarning tarkibi (% da) Al₂O₃ - 2,5; Fe₂O₃ - 0,4 Si-1,1 dan iborat ekanligi aniqlandi. Kvarts qumlarini magniy bilan qaytarib texnik kremniy olish ustida tadqiqot ishlari olib borildi. XRF tahliliga ko'ra, Sherobod kvarts qumi tarkibida SiO₂ - 96.2%, Al₂O₃ - 1.8%, Fe₂O₃ - 0.5%, CaO - 0.3%, boshqa aralashmalar - 1.2% ekanligi aniqlandi. Jarqo'rg'on qumida esa SiO₂ - 94.5% ni tashkil qildi. Uchqizil hududidagi qum eng yuqori tozalikka ega bo'lib, SiO₂ miqdori 97.1% ga yetdi. Shuning uchun keyingi tajribalar Uchqizil qumi bilan olib borildi.



2-rasm. Kvarts qumini magniyli qaytarilib, boyitilgandan keyingi Rentgen fazaviy tahlili

2-rasmda keltirilgan XRD grafigida 28.4° (111), 47.3° (220), 56.1° (311) burchaklarda kristall kremniyga xos cho'qqilar aniq ko'rinadi. Boyitilmagan qumda

(1-rasm) esa asosan SiO_2 ga xos cho‘qqilar (26.6°) ustunlik qiladi. SEM tasvirlari olingan kremniy zarralari 2-8 mkm oralig‘ida, asosan sferik va ovalsimon shaklda ekanligini ko‘rsatdi.

Demak, bu jarayonda $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Mg}}=1:2$ mol nisbatda olingan aralashmaning 800°C haroratda olingan tahlilidan TKning tozaligi $\approx 87\%$ ekanligi aniqlandi. Bunday foizli kremniy 773 markali bo‘lib, siluminlar va Al-Si tizimining boshqa qotishmalarini ishlab chiqarishda; ferrosilikon, ferrosilikomarganes, ferrosilikokalsiy va boshqa ferroqotishmalar ishlab chiqarishda; kremniyorganik birikmalar ishlab chiqarishda foydalaniladi.

Tajribalar shuni ko‘rsatdiki, 600°C da reaksiya juda sust borib, 20% dan ortiq kremniy ajralmadi. 800°C da esa 6 soatdan keyin maksimal unumga erishildi. 1000°C dan yuqori haroratlarda Mg_2Si hosil bo‘lishi ortib, mahsulot tozaligi pasaydi. 1400°C dan yuqori haroratlarda esa magniyning bug‘lanishi tufayli samarasiz bo‘ldi.

$\text{SiO}_2:\text{Mg}$ nisbati 1:2 bo‘lganda tozalik $\approx 87\%$ ni tashkil qildi. 1:3 da bu ko‘rsatkich 85% gacha, 1:4 da 82% ga tushdi. 1:7 nisbatda ortiqcha magniy Mg_2Si hosil bo‘lishiga olib keldi va tozalik 75% gacha pasaydi. Shunday qilib, optimal nisbat 1:2 ekanligi aniqlandi.

Olingan 87% tozalikdagi kremniy 773 markali mahsulotga to‘g‘ri keladi. Bu mahsulot siluminlar (Al-Si qotishmalari), ferrosilitsidlar va kremniyorganik polimerlar ishlab chiqarishda keng qo‘llanadi. Magniyotermik usul sanoatdagi karbotermik usulga nisbatan 2-3 barobar past haroratda olib borilishi tufayli energiya tejashga imkon beradi.

Xulosa. Ushbu tadqiqotda Surxondaryo viloyatining Uchqizil, Sherobod va Jarqo‘rg‘on kvars qumlarining tarkibi o‘rganilib, ulardan magniyotermik qaytarish orqali texnik kremniy olish texnologiyasi ishlab chiqildi. Eng yaxshi natija Uchqizil qumida (SiO_2 97.1%) 800°C da 6 soat davomida $\text{SiO}_2:\text{Mg} = 1:2$ mol nisbatda olib borilgan tajribada qayd etildi, natijada tozaligi $\approx 87\%$ bo‘lgan 773 markali texnik kremniy olindi. Jarayonning optimal parametrlari aniqlandi: harorat 800°C , vaqt 6 soat, mol nisbat 1:2. Olingan mahsulot metallurgiya va kimyo sanoatida qo‘llash uchun yaroqli. Kelgusida bu usulni sanoat miqyosiga chiqarish va olingan kremniyni quyosh energetikasi uchun yuqori toza (99.99%) darajagacha tozalash texnologiyasini ishlab chiqish rejalashtirilgan.

Adabiyotlar ro‘yxati

1. Баранов Н.Н. Прямое преобразование энергии для автономной энергетики.//Энергия:экономика, техника, экология. 2000.-№8.-с.23-34.
2. Стребков Д.С., Пинов А.Б. Фотоэлектричество проблемы и перспективы.//Возобновляемая энергия.- 2021.-№1.-с.21-26.

3. Свен Уделл. Солнечная энергетика и другие альтернативные источники энергии. М.:Знание.88.
4. Hamakawa M. Solar photovoltaics recent progress and its new role.//Optoelectronics- Dev.and.Tech. -2004 v.5.- № 2.- pp. 113-125.
5. Программа ALTENER и другие программы ЕК по развитию возобновляемой энергии.// Возобновляемая энергия. -2000.-№10-С6.
6. Kozlov A.V., Yurchenko A.V. The long-term prediction of silicon solar batteries functioning for any geographical region. // Proceedings of 22st European PV Solar Energy Conference and Exhibition, Milan 3-7 September 2007 pp. 3019 - 3022
7. Будагян Б.Г., Шерченков А.А., Бердников А.Е., Черномордик В.Д. Высокоскоростной метод осаждения аморфного кремния. Микроэлектроника, 2000, т. 29, вып. 6, с. 442-448.
8. O‘zbekiston milliy entsiklopediyasi., 2006 y. Toshkent.
9. Aghion, E., Golub, G. (2006). Production Technologies of Magnesium. In: Magnesium Technology. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-30812-1_2
10. Скальный А. В. Химические элементы в физиологии и экологии человека. - М.: Издательский дом «ОНИКС 21 век»: Мир, 2004. - 216 с.
11. Chen, Y., et al. (2022). “Magnesiothermic reduction of silica: A review” *Journal of Alloys and Compounds*, 895, 162598.
12. O‘zbekiston Respublikasi Geologiya va mineral resurslar davlat qo‘mitasi. (2021). “O‘zbekiston kvars konlari geologik hisoboti”.
13. Z. Liu, X. Zhang, “Kinetics of magnesiothermic reduction of SiO₂”, *Thermochimica Acta*, 2020, 689, 178617.