

**ИСЛОМ КАРИМОВ номидаги ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА  
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ «ФАН ВА ТАРАҚҚИЁТ» ДАВЛАТ  
УНИТАР ҚОРХОНАСИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.03/30.12.2019.К/Т.03.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ИСЛОМ КАРИМОВ номидаги ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА  
УНИВЕРСИТЕТИ «ФАН ВА ТАРАҚҚИЁТ» ДАВЛАТ УНИТАР  
ҚОРХОНАСИ**

**ТҶЙЧИЕВА МАХЛИЁ ОБИДХОН ҚИЗИ**

**ЭЛЕКТРОКЕРАМИКА КОМПОЗИЦИОН  
МАТЕРИАЛЛАРИНИНГ САМАРАЛИ ТАРКИБИ ВА УЛАРНИ  
ЭНЕРГИЯ-РЕСУРСТЕЖАМҚОР ОЛИШ ТЕХНОЛОГИЯСИНИ  
ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**02.00.07- Композицион, лок-бўёқ ва резина материаллари кимёси ва технологияси  
(техника фанлари)**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)**

**Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)**

**Тўйчиева Махлиё Обидхон қизи**

Электрокерамика композицион материалларининг самарали таркиби ва уларни энергия-ресурстежамкор олиш технологиясини ишлаб чиқиш.....3

**Туйчиева Махлиё Обидхон кизи**

Разработка эффективных составов и энерго-ресурсосберегающая технология получения электрокерамических композиционных материалов.....22

**Tuychieva Makhliyo Obidhon kizi**

Development of effective compositions and energy-resource-saving technology for obtaining ceramic electrical insulating composite materials.....41

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works .....44

**ИСЛОМ КАРИМОВ номидаги ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА  
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ «ФАН ВА ТАРАҚҚИЁТ» ДАВЛАТ  
УНИТАР ҚОРХОНАСИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.03/30.12.2019.К/Т.03.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ИСЛОМ КАРИМОВ номидаги ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА  
УНИВЕРСИТЕТИ «ФАН ВА ТАРАҚҚИЁТ» ДАВЛАТ УНИТАР  
ҚОРХОНАСИ**

**ТҶЙЧИЕВА МАХЛИЁ ОБИДХОН ҚИЗИ**

**ЭЛЕКТРОКЕРАМИКА КОМПОЗИЦИОН  
МАТЕРИАЛЛАРИНИНГ САМАРАЛИ ТАРКИБИ ВА УЛАРНИ  
ЭНЕРГИЯ-РЕСУРСТЕЖАМҚОР ОЛИШ ТЕХНОЛОГИЯСИНИ  
ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**02.00.07- Композицион, лок-бўёқ ва резина материаллари кимёси ва технологияси  
(техника фанлари)**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2022**

Фалсафа доктори (PhD) диссертация мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2021.4.PhD/Т2445 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети «Фан ва тараққиёт» давлат унитар корхонасида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида ([www.gupft.uz](http://www.gupft.uz)) ва «Ziyonet» Ахборот-таълим порталида ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

**Туляганова Васи́ла Сунатиллаевна**  
техника фанлари доктори, к.и.х.

**Расмий оппонентлар:**

**Талипов Ниғматилла Хамидович**  
техника фанлари доктори, к.и.х.

**Бекжанова Гулрух Бахтияровна**  
техника фанлари доктори, к.и.х.

**Етакчи ташкилот:**

**Гулистон Давлат Университети**

Диссертация ҳимояси Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети «Фан ва тараққиёт» давлат унитар корхонаси ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.К/Т.03.01 рақамли Илмий кенгашнинг « 8 » февраль 2022 йил соат 14<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100174, Тошкент ш., Мирзо-Ғолиб кўчаси, 7а-уй. Тел.: (99871) 246-39-28; Факс: (99871) 227-12-73; e-mail: fan va taraqqiyot@mail.ru, «Фан ва тараққиёт» ДУК, 2-қават, анжуманлар зали).

Диссертация билан «Фан ва тараққиёт» давлат унитар корхонасининг Ахборот-ресурс марказида (рўйхатга олинган №29-21) танишиб чиқиш мумкин. (Манзил: Тошкент ш., Мирзо-Ғолиб кўчаси, 7а-уй. Тел.: (99871) 246-39-28; Факс: (99871) 227-12-73).

Диссертация автореферати «21» январь 2022 йилда тарқатилди.  
(2021 йил 8 ноябрдаги № 29-21 рақамли реестр баённомаси).



**С.С. Негматов**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, ЎзР ФА академиги, т.ф.д., профессор.

**М.Э. Икратова**  
Илмий даражалар бериш бўйича илмий кенгаш котиби, т.ф.д., к.и.х.

**А.М. Эминов**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш ҳузуридаги илмий семинар раиси, т.ф.д., профессор.

## КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти.** Бугунги кунда дунёда электрокерамика материаллари энергетика, нефть, металлургия, машинасозлик ва бошқа саноат тармоқларида кенг қўлланилганлиги сабабли композицион электрокерамика материалларга бўлган талаб ортиб бормоқда. Бу борада электроизоляцияцион юқори частотали диэлектриклар, юқори вольтли деталлар, изоляторлар ва бошқа буюмлар тайёрлаш учун электрокерамика материалларининг самарали таркибини яратиш ва энергия ресурстежамкор технологияларни ишлаб чиқиш муҳим аҳамиятга эга.

Жахонда юқори физик-механик ва электрофизик хусусиятларига эга бўлган электрокерамика изоляцияцион материалларнинг кимёвий-минералогик таркибини, технологик хоссаларини, жараёнида содир бўладиган фазовий ўзгаришларини комплекс тадқиқ қилиш ва юқори частотали изоляцияцион хоссага эга бўлган электрокерамика деталларини ишлаб чиқиш бўйича илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада электроизоляцияцион керамика материалларини ва стеатитли электрокерамика композицион материалларнинг самарали таркибини олиш усулларини яратиш, энергия-ресурстежамкор технологиясини ишлаб чиқиш ва мавжуд технологияларни такомиллаштириш катта аҳамиятга эга.

Республикада электротехника саноати учун электрокерамика композицион материалларни яратиш ва ишлаб чиқариш соҳасида бир қанча чора-тадбирлар амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар Стратегиясида «...илмий-тадқиқот ва инновацион фаолиятни рағбатлантириш, инновацион ютуқларни амалиётга жорий этишнинг самарали механизмларини яратиш...»<sup>1</sup> бўйича муҳим вазифалар белгилаб берилган. Бу борада, юқори электрофизик ва физик-механик хусусиятларга эга бўлган электрокерамика композицион материалларни самарали таркибларини яратиш, уларни олиш усулларини аниқлаш ва энергия ресурстежамкор технологиясини ишлаб чиқиш муҳим аҳамиятга эга.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги №ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги, Фармони, 2018 йил 25 октябрдаги №ПҚ-3983-сон «Ўзбекистон Республикасида кимё саноатини ривожлантириш чора-тадбирлари тўғриси»даги, 2019 йил 24 августдаги №ПҚ-4426-сон «Давлат ва хўжалик бошқаруви ҳамда маҳаллий ижроия ҳокимияти органларининг ишлаб чиқаришни маҳаллийлаштириш ва саноат тармоқларида кооперация алоқаларини жадаллаштиришнинг янги тизимини жорий этиш бўйича масъулиятини янада ошириш тўғрисида» ги, 2020-йил 15-мартдаги №ПҚ-6079-сон «Рақамли Ўзбекистон-2030» Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда

---

<sup>1</sup> «2017 — 2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича Ҳаракатлар стратегияси» тўғрисидаги Ўзбекистон Республикаси Президентининг №ПФ-4947 сонли Фармони

белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг VII «Кимёвий технология ва нанотехнология» устувор йўналишларига мувофиқ бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Дунё амалиётида керамика ва электрокерамика материаллари соҳасида қуйидаги таниқли олимлар ўзларининг маълум хиссаларини қўшганлар: Г.Н. Масленникова, А.И. Августиник, Х.О. Гевоян, И.А. Булавин, П.П. Будников, Ф.Я. Харитонов, Н.С. Костюков, Н. Schnelder, А.К. Chakravorty, W.C. Weil, К.Х. Schuller, В. Этиль, Е.Ф. Полукэктова, Г.А. Видрик, И.Х. Мороз, Ж.А. Видрина, V. Vouillement, В.И. Верещагин, С.Е. Берецева, С.А. Суворов, Ito Akio, J.J. Blanc, С. Roumezi, А.Э. Энглунд, Н.Н. Murray, В.А. Карманов, В.П. Паничев, Ф.Х. Таджиев, Н.А. Сирожиддинов, А.Х. Исмаилов, А.П. Эркаходжаева, И. Азимов, Р.И. Абдуллаева, А.М. Эминов ва бошқалар.

Адабиётлар тахлилига кўра, ҳозирги кунга қадар, электрокерамика материаллар хомашёси, электрофизик ва бошқа эксплуатацион хусусиятларини ўрганиш бўйича маълумотлар ва тадқиқотлар етарли эмас ва айниқса, стеатитли электрокерамика материаллар ва улардан ясалган маҳсулотларни ишлаб чиқариш ҳақидаги маълумотлар батафсил ёритилмаган. Бу эса хом ашёнинг янги турларини аниқлаш ва улардан электрокерамика маҳсулотларини ишлаб чиқаришда қўллаш имкониятларини ўрганиш заруратини туғдиради. Мазкур диссертация иши ушбу муаммоларни ҳал қилишга бағишланган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти И.Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети «Фан ва тараққиёт» Давлат унитар корхонасининг илмий-тадқиқот ишлари режасига мувофиқ №ИОТ-2015-7-6 «Маҳаллий ва иккиламчи хомашёлар асосида композицион электрокерамик материалларни самарали олиш технологиясини ўзлаштириш» мавзусидаги лойиҳаси доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** электрокерамика композицион материалларининг самарали таркиби ва уларни энергия-ресурстежамкор олиш технологиясини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

маҳаллий хомашёларнинг кимё-минералогик таркибини, технологик хоссаларини, киздириш жараёнида содир бўладиган фазовий ўзгаришларини комплекс ўрганиш;

маҳаллий хомашёлар ва ишлаб чиқариш чиқиндилари асосида стеатитли электркерамик композиция намуналарнинг таркибини ишлаб чиқиш, уларнинг технологик ва диэлектрик хоссаларини тадқиқ қилиш;

маҳаллий хомашёлар ва ишлаб чиқариш чиқиндиси асосида стеатитли электрокерамик композициянинг фазовий таркибини ва микроструктурасини ўзига хослигини аниқлаш ҳамда жараёнининг ҳароратга боғлиқлик механизмини яратиш;

стеатитли электркерамик композицияни керамик-технологик ва диэлектрик хоссаларига фаза таркибининг таъсирини, диэлектрик хоссаларининг пишиш ҳарорати ва электр майдони частотасига боғлиқлигини ўрганиш;

маҳаллий хомашёлар ва кремнеземли саноат чиқиндиси (гуручнинг қобиғидан олинган кремнезем) асосида стеатитли электрокерамика композициясини самарали ишлаб чиқаришнинг энергия ресурстежамкор технологиясини яратиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида Султануиздаг тальки, Каттакўрғон бентонити, Ангрен АКС-30 каолини ва шolini қайта ишлаш саноати чиқиндиси бўлган кремнезем олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** бўлиб маҳаллий хом ашё ва саноати чиқиндилари асосида стеатитли электрокерамика композицион материалларининг самарали таркиби, хомашёларнинг кимёвий-минералологик, гранулометриқ таркиби, уларнинг физик-кимёвий ва технологик хоссалари ҳамда керамик-технологик ва диэлектрик хусусиятларини ўрганиш ва улар асосида изоляцион материаллар олиш, шунингдек қўлланиш самарадорлигини аниқлаш ҳисобланади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Диссертация ишини бажаришда рентгенографик, петрографик, электрон-микроскопик, дифференциал-термик анализ методлари ва қабул қилинган стандарт усулларида фойдаланилди.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

Қоракалпоқ талькининг кимёвий-минералологик таркиби ва уни куйдиришда содир бўладиган фаза ўзгаришларининг механизми ҳамда пишириш жараёнида протоэнстатит-стеатит ҳосил бўлиши аниқланган;

Каттакўрғон бентонитини физик-кимёвий ва технологик хоссалари ҳамда бентонитни қиздирилгандаги фаза ҳосил бўлиш жараёни аниқланган;

физик-кимёвий ва технологик хоссалари яхшиланган паст ҳароратда пишадиган стеатитли электрокерамика композициянинг оптимал таркиби ишлаб чиқилган;

стеатитли электрокерамика композицияси таркибида микроструктураси шаклланишининг ўзига хослиги ва фаза таркиби аниқланган;

пишасимон фазанинг стеатитли электрокерамик композициясининг диэлектрик хоссаларига таъсир механизми ишлаб чиқилган;

стеатитли композицион электрокерамика материалларини ишлаб чиқариш технологияси ва технологик регламенти ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

маҳаллий хомашё ва шolini қайта ишлаш саноати чиқиндиси асосида стеатитли электрокерамика композицион материалларнинг оптимал таркиби ишлаб чиқилган;

пишириш температураси паст бўлган холда физик-механик хоссалари яхшиланган электрокерамик буюмлар ишлаб чиқариш учун маҳаллий хомашёдан фойдаланиш истиқболлари асосланган;

стеатитли электрокерамик композициянинг таркибида маҳаллий хомашёлар: тальк, бентонит, шolini қайта ишлаш саноати кремнеземли чиқиндисини қўллаш натижасида пишиш хароратини эталонга нисбатан 50<sup>0</sup>С га камайиши аниқланган, бу эса ёнилғи энергетик ресурсларини тежашни ва тайёр маҳсулот таннархини пасайишига олиб келиши аниқланган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги** қўлланилган физик-кимёвий (ИК-спектроскопия, рентгенфаза, дифференциал-термик анализ, оптик микроскопия ва кимёвий таҳлил) ҳамда барча физик-механик усуллар билан асосланган. Композицион электрокерамика материалларнинг физик-механик ва диэлектрик хоссаларини аниқлаш натижалари математик-статистика усулида қайта ишланганлиги ва ишлаб чиқаришда қўлланганлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти маҳаллий хомашё ва шolini қайта ишлаш саноати чиқиндиси асосида магнезиал-стеатит электрокерамика материалларнинг микротузилмасини ва фазавий таркибини шакллантириш механизми, фаза ҳосил бўлиш жараёнининг технологик ва диэлектрик хоссаларига боғлиқлик қонуниятларини ўрнатиш орқали электрокерамика композицион материалларнинг самарали таркибларини ишлаб чиқиш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти маҳаллий хомашёдан фойдаланиш ва паст пишириш хароратида юқори электроизоляцияцион кўрсаткичларига эга бўлган композицион стеатитли электрокерамика буюмларини яратиш ҳамда уларни электр тармоқлари, электротехника ва энергетикада қўлланилиши билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Электрокерамика композицион материалларининг самарали таркиби ва уларни энергия-ресурстежамкор олиш технологиясини ишлаб чиқиш бўйича илмий натижалар асосида:

ишлаб чиқилган магнезиал-стеатитли композицион электрокерамик материалларнинг самарали таркиблари «Олмалиқ КМК» АЖ «НМваҚҚ» ИИЧБда амалиётга жорий этилган («Олмалиқ КМК» АЖнинг 2021 йил 24 ноябрдаги ХА-009605-сон маълумотномаси). Натижада, электрокерамика материаллари бўйича саноатнинг хомашё базасини кенгайтириш имконини берган;

магнезиал-стеатитли композицион электрокерамик материаллар ишлаб чиқариш учун энергия тежайдиган самарали технологияси «Олмалиқ КМК» АЖ «НМваҚҚ» ИИЧБда амалиётга жорий этилган («Олмалиқ КМК» АЖнинг 2021 йил 24 ноябрдаги ХА-009605-сон маълумотномаси). Натижада, физик-механик ва электроизоляцияцион хусусиятлари яхшиланган электрокерамика маҳсулотларини олиш ҳамда «Олмалиқ КМК» АЖнинг иқтисодий самарадорлигини ошириш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари 2 та халқаро ва 2 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича жами 10 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 6 та мақола, жумладан, 3 таси республика ва 3 таси хорижий журналларда нашр этилган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация таркиби кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 113 бетни ташкил этган.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари тавсифланган, объекти ва предмети белгиланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикасида фан ва технологияларни ривожлантиришнинг устивор йўналишларга мослиги кўрсатилган, тадқиқот натижаларининг амалиётга жорий қилиш келтирилган, натижаларнинг апробацияси, чоп этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

**«Электркерамика материалларини ишлаб чиқариш ва физик-кимёвий жиҳатларинининг ҳозирги ҳолати»** деб номланган диссертациянинг биринчи бобида электркерамика тармоғида физик-кимёвий тадқиқотларнинг замонавий ҳолати, керамика саноатининг хомашё базаси ҳақида, стеатитли электркерamik композицияси таркибида хомашёларни ишлатишнинг такомиллашуви, фаза ҳосил бўлиш жараёнини физик-кимёвий асослари ҳақидаги маълумотлар келтирилган.

Адабиётларга танқидий ёндашиб, маҳаллий хомашёлар асосида стеатитли электркерamik композициясини таркиби ва технологиясини яратиш борасидаги тадқиқотнинг асосий йўналишлари аниқланди.

Диссертациянинг **«Объектларни танлаш ва композицион керамика материалларни олиш ва физик-механик хоссаларини тадқиқот ўтказиш усуллари»** деб номланган диссертациянинг иккинчи бобида тажриба тадқиқотларини ўтказиш учун объектлар танлаш баён қилинган ва ҳар томонлама асосланган. Композицион магнезиал-стеатит электркерамика материаллари ва маҳсулотларини олиш ва физик-механик ҳамда диэлектрик хусусиятларини аниқлаш усуллари, шунингдек, натижаларни математик-статистик қайта ишлаш натижалари келтирилган.

**«Ўзбекистон хомашёларининг кимёвий ва минералогик таркиби ва хоссаларини ўрганиш»** деб номланган диссертациянинг учинчи бобида композицион электркерamik материаллар ишлаб чиқариш учун маҳаллий хомашё ва шolini қайта ишлаш саноат чиқиндисининг кимёвий-минералогик таркиби ва физик-кимёвий хоссаларини ўрганиш бўйича олиб борилган тадқиқот натижалари акс эттирилган. Диссертация иши стеатитли

электркерамика материалларини ишлаб чиқариш учун зарур бўлган маҳаллий хомашёлар тальк, бентонитнинг янги манбааларини ўрганишга бағишланган. Ўзбекистонда бундай хомашёларнинг қатламлари жуда кўп. Тальк магнезитли электркерамика материалларнинг асосий компоненти ҳисобланади. Петрографик анализ натижалари кўрсатдики, текширилаётган талькнинг асосий минерали магнезитдир, у кальцит, кварц, дала шпатлари ва бошқалардан ташкил топган. Магнезит юпка кристалл структурага эга, кристаллари шаффоф, рангсиз, доначалари чўзилган формада, синиш кўрсаткичлари  $N_q = 1,700$ ;  $N_p = 1,509$  тенг. Кристаллари тартибсиз қатлам ҳолатдаги тузилишга эга, улар орасида магнезит ва доломит жойлашган. Талькнинг зичлиги  $2,72-2,80 \text{ г/см}^3$  тенг. Қорақалпоқ тальки яшил-кулранг бўлиб, кимёвий таркибини текшириш натижалари 1-жадвалда келтирилган.

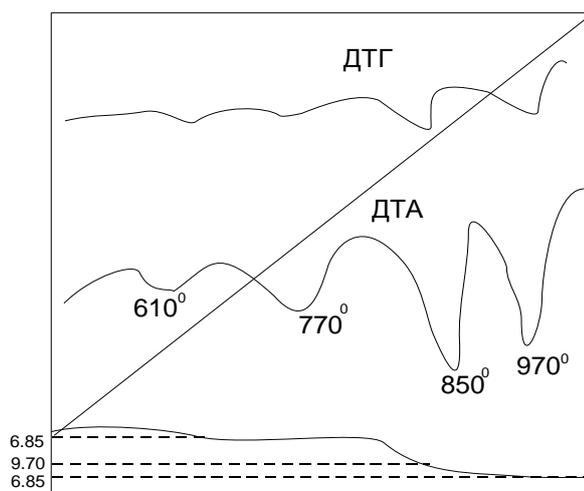
1-жадвал

### Қорақалпоқ талькининг кимёвий таркиби

	П.п.п.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Тальк	13,03	38,06	7,69	7,95	4,2	27,35	-	-	0,57	0,18

Кимёвий текшириш натижалари шуни кўрсатдики, текширилаётган тальк MgOнинг 27,35% гача борлиги билан характерлидир. Текшириш натижалари талькнинг ўтга чидамлилиги 1570°C эканлигини кўрсатди. Талькнинг кимёвий таркибини текшириш натижаларини ГОСТ талаби билан таққослаб, шундай ҳулосага келинди, ўрганилаётган тальк ўзининг таркиби жихатидан ПМК-27 маркага мос келади, ва магнезитли электркерамик материалнинг омехта таркиби учун компонент сифатида катта қизиқиш уйғотади.

Талькнинг дифференциал-термик анализ натижасида 4та эндотермик эффект кузатилди (1-расм). Биринчи эндотермик эффект 610°C да магнезитнинг сувсизланиши билан, иккинчи эндоэффект 770°C да доломитнинг магний ва кальций карбонатларига ажралиши билан кечади.



1-расм. Қорақалпоқ талькининг дериватограммаси

Учинчи эндоэффект 850°C кальций ва магний карбонатларининг парчаланиши билан, тўртинчи эндоэффект 970°C да талькдаги кимёвий боғланган сувнинг йўқолиши билан содир бўлади.

Талькнинг рентгенограммасидан кўриниб турибдики, ўрганилаётган тальк асосан талькдан ( $d/n = 0,924; 0,312; 0,234; 0,203; 0,1873$  нм) ва темир хлоритидан ( $d/n=0,1354; 0,712; 0,478; 0,356; 0,285$  нм) иборат. Ўрганилаётган талькни йирик кристалли, қовушқоқ (пластик) тузилиши билан характерланиши аниқланди. Композицион масса таркибига кирувчи талькнинг тузилиши ва кимёвий таркиби композициянинг технологик хоссасига ва электркерамиканинг физик-технологик характериға катта таъсир этади, текширилаётган талькни қиздирилганда содир бўладиган жараёнларни ўрганиш муҳим вазифалардан биридир.

Талькнинг фаза ўзгаришини ҳароратга боғлиқлиги ренгенфазавий анализ ёрдамида ўрганилди. Рентгенограммадан кўриниб турибдики, қуйдирилган тальк магний метасиликати, магний ортосиликати ва темир хлорит кристалл фазаларидан иборат. Магний метасиликати қатлам оралиғида чўққилари  $d/n = 0,924; 0,462; 0,328; 0,316; 0,297; 0,288; 0,254$  нм, магний ортосиликати чўққилари  $d/n = 0,1065; 0,336; 0,193$  нм ва темир хлорити чўққилари  $d/n = 0,1354; 0,712; 0,478; 0,356; 0,285$  нм билан характерланади.

Петрографик анализ натижасида намунадаги магний ортосиликати ёруғликни синдириш кўстакичлари:  $N_g = 1,668$  ва  $N_p = 1,636$ , магний метасиликати  $N_g = 1,658$  ва  $N_p = 1,650$  иборат эканлиги аниқланди.

Шундай қилиб, ўрганилаётган тальк асосан магний гидросиликати, магнезитдан иборат, унда қолдиқ (қўшимчалар) кўринишда кальцит, кварц, дала шпати ва бошқалар бор. Қиздириш вақтида тальк сувсизланади, ва яна ҳарорат кўтарилиши натижасида магний метасиликати ҳосил бўлади.

Қорақалпоқ талькини текшириш натижаларини анализ қилиб, шундай хулоса қилиш мумкин, тальк электркерамик материалларини пишириш вақтида жараёнларни тезлигини ва механизмини бошқариб туради, материални мустаҳкамлигини оширишга ёрдам беради.

Каттақўрғон бентонити ўзининг физик-кимёвий хоссалари ва захираларининг кўплиги нуқтаи назари билан, уни ўрганиш ўзида катта қизиқиш уйғотади. Каттақўрғон бентонитининг яшил ва кулрангли турлари ўрганилган. Текширилаётган бентонит ҳақида тўлиқ маълумотга эга бўлиш мақсадида, унинг физик-кимёвий ва технологик кўрсаткичларига биз кимё-минералогик таркиби, майдаланиши, қовушқоқлик, ҳавога ва ўтга чидамлилиги, сувютувчанилик, зичлигини, сиқилишга ва эгилишга бўлган мустаҳкамлигини аниқлаш орқали эришдик.

Бошқа заҳирадаги бентонитли тупроқни кимёвий анализ натижаларини таққослаб, шуни айтиш мумкинки, Каттақўрғон бентонитли тупроқлари ўзининг кимёвий таркиби билан электр ва техника керамикасида ишлатилаётган Огланлин бентонитига яқиндир.

Ўрганилаётган бентонитда кремний оксиди Огланлин бентонитига нисбатан камроқ,  $Al_2O_3$  эса кўпроқдир. Каттақўрғон яшил ва кулранг тупроғининг (бўлаги  $0,001$  мм) ўртача кимёвий таркиби таниқли бўлган Пыжев, Тазказган ва Аскан бентонитли тупроғининг таркиби билан деярли

бир хил ва яқиндир. Текширишлар натижасига кўра, бентонитнинг мақбул пишиш ҳарорати 1000<sup>0</sup>С.

Текширилаётган бентонитни минералогик таркибини электрон-микроскопик, петрографик ва рентгенграфик методлари ёрдамида ўрганилди.

Ўтказилган анализ асосида ўрганилаётган бентонит монтмориллонит тупроғидан иборатлиги, сувда тез бўқиши ва тез майдаланиши билан характерланиши, унинг таркибида 50-57% монтмориллонит, 30-36% гидрослюдалар, 8-9% каолинит борлиги аниқланди. Қолдиқ холида эса кварц, микроклин кўринишидаги дала шпати, кальцит, турмалин ва сфен учрайди. Бентонитнинг пишиш ҳарорати 1000<sup>0</sup>С, паст ҳароратда деформацияланади ва 1150<sup>0</sup>С да жипслашади, пишиш ҳолатининг оралиғи 50<sup>0</sup>С.

Ўтга чидамлилиги ва қийин эрийдиган тупроққа нисбатан, термик ишлов беришда бентонитнинг муллит ҳосил бўлиш жараёни паст ҳароратда (1150<sup>0</sup>С) бошланади. Шунинг учун уни электрокерамика структурасидаги кристалл фаза муллит ҳосил бўлишига интилувчи эрувчан деб қараш мумкин.

Каттақўрғон бентонити яхши боғловчи ва қовушқоқлик қобилиятига эга бўлганлиги учун, электркерамик массасининг ўтга чидамли ва боғловчи компонентининг ўрнини босувчи сифатида ўзига нисбатан катта қизиқиш уйғотади. Ижобий кўрсаткичларга эга бўлган бентонитдан фойдаланиш хомашё базасининг кенгайишига ва маҳсулотнинг таннархини пасайишига олиб келади.

Турли хил ишлаб чиқариш чиқиндилари - иккиламчи хомашёлардан фойдаланиш, табиий минерал хомашё ресурсларининг иқтисодий самарасини оширади, бу эса керамика саноати хомашё базаларини кенгайишига олиб келади.

Ҳар йили Ўзбекистон бўйича 35 минг тонна чиқиндилар ташлаб юборилади, кайсики уларга термик ишлов берилгандан сўнг, улар ўта муҳим кремнезмли хомашёларга айланади.

Проф. А.М. Эминов томонидан кимёвий анализ ёрдамида пиширилмаган ва 1350<sup>0</sup>С да пиширилган охирги ҳароратда 30 дақиқа ушлаб турилган шолини қайта ишлаш саноати чиқиндисини кимёвий таркиби аниқланди. Бу чиқиндини стеатитли электркерамикасини ишлаб чиқаришда фойдаланиш мақсадга мувофиқ деб ҳисобланади.

**«Маҳаллий хомашё асосида магнезиал-стеатит электрокерамика композит материалларнинг самарали таркибларини ишлаб чиқиш ва хоссаларини ўрганиш»** деб номланган диссертациянинг тўртинчи бобида маҳаллий минерал хом ашёлар ва шолини қайта ишлаш саноат чиқиндиси асосида магнезиал-стеатит электркерамика материалларини таркибларини яратиш ва композицияларнинг физик-механик хоссаларини ўрганиш натижалари келтирилган.

Стеатитли электркерамик маҳсулотлари ишлаб чиқаришда пластик ва босим остида қайноқ холда қуйиб қолиплаш усуллари кенг қўлланилади.

Шароитдан келиб чиқиб, биз пластик қолиплаш усулидан фойдаландик. Адабиётлардан олинган хулосалар ва хомашёларнинг кимёвий таркибига асосланиб композиция таркибини аниқладик (2-жадвал).

2-жадвал

### Тажрибавий композициянинг шихта таркиби

Хомашё номи	Омихта индекси								
	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>
Ангрен каолини	15	17	20	25	30	20	25	20	20
Қорақалпоқ тальки	21	22	20	35	30	35	45	50	55
Куйдирилган тальк	58	55	54	35	35	40	25	25	20
Каттақўрғон бентонити	3	3	3	2	2	2	2	2	2
Кремнеземли чиқинди	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Барий кислотаси (BaCO <sub>3</sub> )	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Талкни таркибидаги намлик ҳисобига композицияни пишириш вақтида қисқариш кўпаяди. Пишиш жараёнида композициянинг қисқаришини камайтириш учун, талькни бир қисмини куйдириб олинади. Бунинг учун, талькни 1-2 мм ўлчовда майдалаб, кейин уни 1350<sup>0</sup>С ҳароратда пиширилади, охириги ҳароратда 30 дақиқа давомида ушаб турилади.

Намуналар лаборатория шароитида пластик (хамир) кўринишида тайёрланади. Кейин намуналар 1200, 1250, 1300, 1350<sup>0</sup>С ҳароратларда пиширилади. Хомашёларнинг кимёвий таркибидан фойдаланиб, намуналарнинг кимёвий таркибини ҳисоблаш методи орқали аниқланди ва натижалари 3 жадвалда келтирилган.

3-жадвал

### Хомашёларнинг кимёвий таркиби

Хомашёлар номи	Оксидлар миқдори, %									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	R <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	П.п.п
Ангрен каолини	51,2	35,7	0,28	-	0,14	0,44	0,12	0,21	-	11,85
Қорақалпоқ тальки	62,04	0,43	3,23	-	31,7 5	0,35	-	-	-	2,2
Каттақўрғон бентонити	59,56	17,68	3,20	0,5	1,90	0,69	1,44	1,92	0,91	12,04
Кремнеземли чиқинди	81,4	13,76	1,68	-	1,25	1,42	0,34	0,15	0,24	0,23

Намуналарнинг фаза таркиби алоҳида аҳамиятга эга, чунки уларни ишлатиш хусусияти шу таркибга боғлиқ. Намуналарнинг фаза таркиби петрографик, электрон-микроскопик ва рентгенграфик анализ методлари ёрдамида аниқланди.

Намуналарнинг петрографик текширишлар CARE ZEISS IENA поляризацион микроскопи ёрдамида шаффоф шлифлар ва иммерсион препаратларда бажарилди (2-расм).

а) M<sub>1</sub>омихтанинг петрографик текшириш натижалари: а) 1200<sup>0</sup>С ҳароратда пиширилган намуна (2 а расм) структураси бир текис эмас, йирик

донали, ғовакларга эга. У метатальк ( $N_g = 1,575$ ;  $N_p = 1,540$ ); кварц ( $N_e = 1,552$ ;  $N_o = 1,540$ ); шишасимон фаза ва алоҳида метакаолинит доначаларидан иборат.

б)  $1250^{\circ}\text{C}$  ҳароратда пиширилган намунанинг (2 б расм) структураси бир текис эмас, майда доначали, 20-25 мкм ўлчамли ғовакларга эга. Композиция асосан шишасимон фаза, яъни осон эрийдиган компонентларнинг эриши ҳисобига ҳосил бўлган фазадан иборат. Намунада метакаолинитнинг бўлиниши натижасида ҳосил бўлган муллит доначалари 2-3 мкм ўлчамли, кварц 20-25 мкм ўлчамли ва кам миқдорда магний метасиликати борлиги кузатилди. Кварцнинг бир қисми юқори ҳароратда  $\alpha$ -кристобалит ( $N_e = 1,484$ ;  $N_o = 1,487$ ) кўринишига ўтади.

в)  $1300^{\circ}\text{C}$  ҳароратда пиширилган намунанинг (2 в - расм) структураси бир текис эмас, майда доначали, думалоқ шаклли 20-25 мкм ўлчамли ғовакларга эга. Композициянинг асосий қисми магний метакаолинити, шишасимон фаза, муллит ва кварцдан иборат. Магний метакаолинити доначалари омехтанинг асосий қисмида тарқалган, баъзи бир жойларда майда заррачали 2-3 мкм ўлчамга эга бўлган муллитнинг жамланган айрим майдонлари мавжуд. Шишасимон омехта ҳажм бўйлаб тарқалган. Кварцнинг миқдори  $1250^{\circ}\text{C}$  ҳароратда пиширилган намунага нисбатан бир қанча камроқ, кварц ва кристобалитнинг ёруғликни синдириш кўрсаткичига асосланиб айтиш мумкинки, кристобалит доначалри кўп тарқалган. Кварц доначалари эриганда атрофида гардиш ҳосил бўлади.

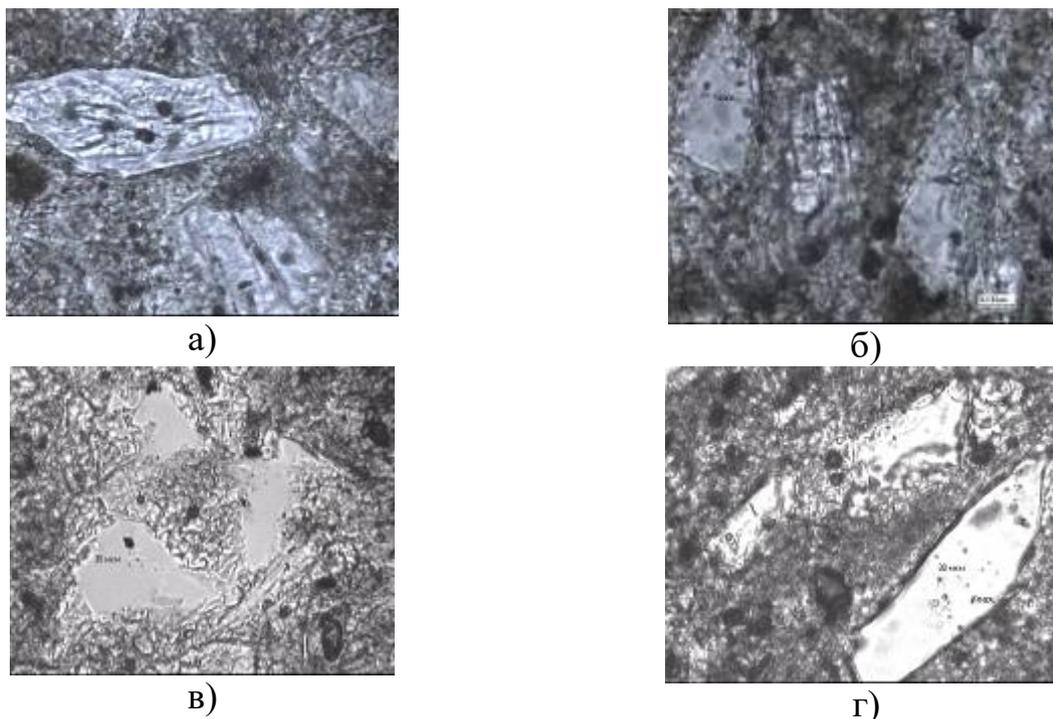
г)  $1350^{\circ}\text{C}$  ҳароратда пиширилган намуна (2 - расм) зич, бир текисли, майда кристалл структурага эга, асосан 2-6 мкм ўлчамли магний метасиликат фазасидан ташкил топган. Композициянинг асосий қисми 3-4 мкмли муллит доначаларидан ( $N = 1,578$ ) иборат. Кристалларнинг янги ҳосилалари шишасимон фазанинг юпқа зирх қатлами билан қопланган. Магний метасиликатининг миқдори тахминан 55-58%. Омехтанинг асосий қисмида нотўғри бўлакланган кварцнинг доначалари мавжуд, кварц доначалари қалинлиги 8-10 мкм ўлчамли эригандаги гардиш билан ўралган.

Шундай қилиб, петрографик изланиш натижалари шуни кўрсатдики, намуналарни пиширганда физик-кимёвий жараёнлар содир бўлади, натижада 55-61% миқдорда протоэнстатит кўринишдаги магний метасиликати, муллит ва шишасимон янги кристалл фазалар ҳосил бўлади.

$1350^{\circ}\text{C}$  ҳароратда пиширилган намуналар бир текис, зич структурага эга, асосий кристалл фазалар протоэнстатит кўринишдаги магний метасиликати, кварц, муллит кристобалит ва 38-40% миқдордаги шишасимон фазалар эканлиги аниқланди. Протоэнстатит кристалларининг ўлчами 2-6 мкмга тенг, ёруғлик синдирувчанлиги  $N_g = 1,660$ ;  $N_p = 1,652$ .

Олдимизга қўйилган мақсадни амалга ошириш учун биз турли ҳароратларда пиширилган стеатитли композицион аралашмаларни электрон-микроскоп ёрдамида текширдик. Бу текшириш натижалари шуни кўрсатдики, стеатитли композицион материалнинг  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  омехталари пиширилгандан сўнг бир-бирига ўхшаш. Майда кристалл структурага эга,

омихта асосан магний метасиликати, кварц, муллит кристалл фазалардан ташкил топган. Композицияда кам миқдорда кварц доначалари учрайди.



Турли ҳароратларда пиширилган намуналар, °C :  
а) 1200; б) 1250; в) 1300; г) 1350

## 2-расм. $M_1$ композиция намуналарининг микрофотографияси

1200°C ҳароратда майда кўринишли кристаллар ҳосил бўлиб, улар блок бўлиб жипслашади, 1250°C ҳароратда кристаллар йириклашади, улар думалоқ шаклга эга, аниқ кўринишли агрегат ҳолатга ўтади.  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  омехталарнинг пишиш ҳарорати кўтарилиб борган сари структура ҳосил бўлиш жараёни тўлиқ тугалланади, магний метасиликати, муллит ҳосил бўлиши жадаллашади, кварцнинг бир қисми кристобалит кўринишга ўтади, шишасимон фаза бу кристалл фазаларни бир-бири билан жипслаштиради.

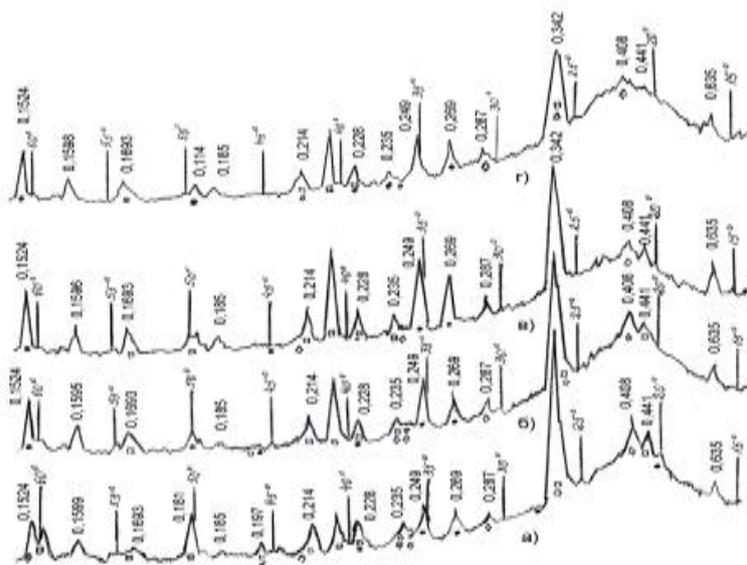
Маҳаллий хомашёлар ва саноат чиқиндиси асосидаги композицион аралашмаларнинг 1200, 1250, 1300, 1350°C ҳароратларда пиширилган композицион намуналарни рентгенографик текшируви ўтказилди,  $M_1$  композициянинг рентгенограммаси 3-расмда келтирилган.

3-расмдан кўришиб турибдики, 1200°C ҳароратда пиширилган  $M_1$  композицион аралашмада  $\beta$ -кварц ( $d/n = 0,424; 0,334; 0,286; 0,245; 0,227; 0,181; 0,152$  нм), метакаолинит ( $d/n = 0,515; 0,739$  нм), метатальк ( $d/n = 0,457; 0,248; 0,192$  нм) кристалл фазалар мавжуд, енгил эрийдиган компонентларнинг эриши ҳисобига кристалл панжаралар бузилади.

$M_1$  омехтанинг (3б-расм) 1250°C ҳароратда пиширилган композицион аралашма намуналарининг кристалл фазаларида – протоэнстатит кўринишдаги магний метасиликати ( $d/n = 0,462; 0,317$  нм) мавжуд,  $\beta$ -кварц ( $d/n = 0,424; 0,286; 0,245; 0,212; 0,152$  нм) миқдори камайган, кристобалит

( $d/n = 0,404; 0,314; 0,249; 0,152$  нм) ва кам миқдорда муллит ( $d/n = 0,286; 0,269; 0,254; 0,188$  нм) ҳосил бўлади.

$M_1$  композицион аралашма намунасини (3 в-расм)  $1300^{\circ}\text{C}$  ҳароратда пиширилганда протоэнстатит кристалл фазасининг ( $d/n = 0,462; 0,317; 0,272$  нм) кўпайиши кузатилади, муллит миқдори ортади,  $\beta$ -кварц камаяди, кристобалит миқдори кўпайганлигини  $d/n = 0,314; 0,243$  нм чўққиларнинг пайдо бўлганлиги тасдиқлаб турибди.



Турли ҳароратларда пиширилган намуналар,  $^{\circ}\text{C}$ :  
 а)1200; б)1250; в)1300;  
 г)1350; □ - протоэнстатит; ◇ - клиноэнстатит; ● –энстатит

**3-расм.  $M_1$  композициянинг рентгенограммаси**

$M_1$  композицион аралашма намунасини (3 г-расм)  $1350^{\circ}\text{C}$  ҳароратда пиширилганда унинг асосини  $d/n = 0,462; 0,317; 0,272; 0,212$  нм чўққили протоэнстатит кўринишдаги магний метасиликати кристалл фазаси ташкил этади,  $\beta$ -кварцнинг миқдори унинг кристобалитга ўтиши ҳисобига камаяди, муллит миқдори ортади, шу ҳароратда намунада клиноэнстатитнинг  $d/n = 0,254; 0,246; 0,214$  нм чўққилари мавжудлиги аниқланди.

Рентгенограммалар тахлили шуни кўрсатдики,  $1200^{\circ}\text{C}$  ҳароратда пиширилган намунада кварц, метатальк, метакаолинитнинг кристалл фазалар мавжуд.  $1250^{\circ}\text{C}$  ҳароратда пиширилган намунада магний метасиликати, муллитнинг кристалланиши чўққиларининг пасайганлиги билан характерланади.  $1300^{\circ}\text{C}$  ҳароратда пиширилган намуналарда протоэнстатит кўринишдаги магний метасиликати кристалланиши жадаллашади, кристобалит ҳосил бўлиши  $1350^{\circ}\text{C}$  ҳароратгача чўққиларнинг жадаллашуви билан характерланади.

Текширув натижалари шуни кўрсатдики, стеатитли композицион аралашманинг қолган таркиблари рентгенограммасида ҳам фазалар ҳосил бўлиш жараёни юқоридаги каби бўлиши кузатилади.

Шундай қилиб, маҳаллий хомашёлар ва ишлаб чиқариш чиқиндисиде асосида яратилган стеатитли композицияларнинг тузилишида фаза ўзгариши жараёнини рентгенфаза анализ ёрдамида ўрганилди, стеатитли электрокерамик композицион материалнинг фаза таркибида

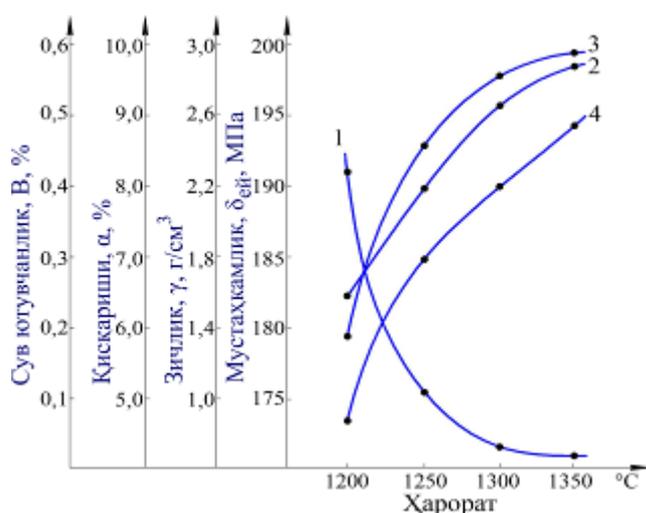
протоэнстатит, муллит, кварц, кристобалит ва кам миқдорда клиноэнстатит ҳосил бўлиши аниқланди.

Электрокерамик материалларининг пишиш жараёни кўпгина факторларга боғлиқ, яъни шихта таркиби, хомашёларнинг кимёвий таркиби, пишиш вақтида содир бўладиган физик-кимёвий жараёнлар, керамик-технологик хоссаларининг характери ва бошқалар.

Намунавий композицияни пишиш вақтидаги ҳолати ҳақида бошланғич маълумотга эга бўлиш учун уни комплекс термик таҳлил қилинди. Термографик текшириш натижалари кўрсатдики, пишириш жараёнида 5та эндотермик эффект содир бўлади. Биринчи эндотермик эффект  $150^{\circ}\text{C}$  да омехта таркибидаги гидроскопик сувнинг чиқиб кетиши билан кечади. Иккинчи эндотермик эффект  $495\text{-}560^{\circ}\text{C}$  да каолин ва бентонитнинг тез суратда сувсизланиши билан боради. Учинчи аниқ кўринишли эндоэффект  $780\text{-}845^{\circ}\text{C}$  карбонатларнинг парчаланиш жараёнининг кечиши билан содир бўлади. Тўртинчи анча суст кўринишли эндоэффект конституцион сувнинг чиқиб кетиши билан кечади. Бешинчи эндоэффект  $915^{\circ}\text{C}$  да талькнинг сувсизланиши ҳисобига содир бўлади.

Стеатитли электрокерамик композицияларининг пишиш жараёни нисбий ўрганилди, яъни керамик-технологик хоссаларининг ўзгариш характери ҳароратга боғлиқ ҳолда ўрганилди, натижалари 4-расмда келтирилган.

4-расмда келтирилган маълумотларнинг таҳлили шуни кўрсатдики, ўрганилаётган таркибнинг пишиш жараёни икки босқичга бўлиш мумкин. Хоссаларининг сезиларли ўзгариши  $1200^{\circ}\text{C}$  ҳароратгача содир бўлади, бундан паст ҳароратда қаттиқ фазада каолинит ва кварцнинг бўлинишидан ҳосил бўлган ҳосилаларнинг ўзаро таъсири кузатилади. Бу босқичда моддаларнинг ўтиши суюқ фаза иштирокисиз юзаки ва хажмий диффузия орқали содир бўлади.



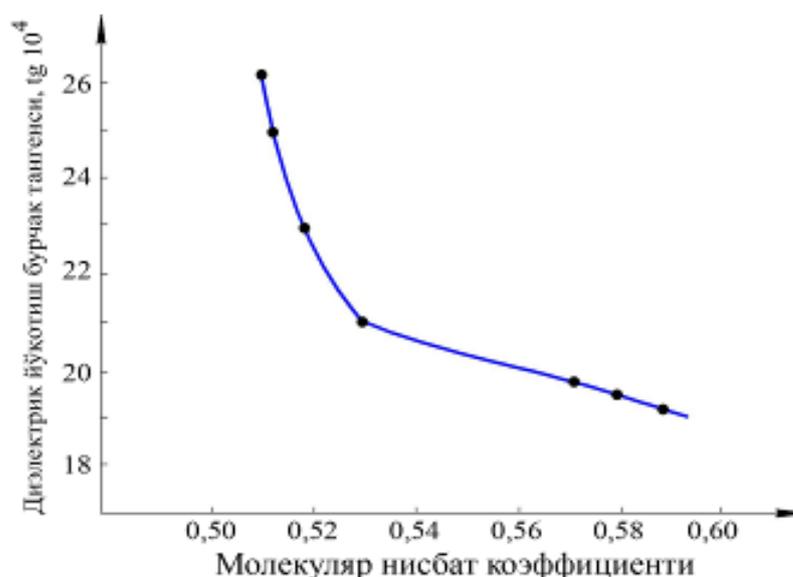
**4-расм. М1 композициянинг сув ютувчанлиги (1), қисқариши (2), зичлиги (3) ва мустаҳкамлигининг (4) ҳароратга боғлиқлиги**

$1250^{\circ}\text{C}$  ҳароратда янада жадаллашган пишиш жараёни содир бўлади, яъни пишиш жараёни иккинчи босқичга ўтади, бу босқичда ҳосил бўлган суюқ фаза таркибида эритмани қовушқоқлигини камайтириб, уни ҳаракатчан ва фаол қилувчи ишқорий ва ишқорий-ер оксидларга эга,  $1200\text{-}$

1300<sup>0</sup>С ҳарорат оралиғида М<sub>1</sub>, композициянинг зичлиги, мустаҳкамлиги, сувютувчанлиги, қисқариши ва бошқа хоссаларининг сезиларли даражада ўзгариши кузатилади. Буни заррача ўлчамларининг катталшуви билан тушунтириш мумкин, ўз навбатида шаклининг ўзгаришига ва ғовак ўлчамларига таъсир этади, яъни ғовак диаметрининг камайиш босими ўсиб боради. Пишиш ҳароратининг ортиб бориши ўрганилаётган аралашманинг зичлашиш жараёнини тезлаштиради. Стеатитли аралашмаларда 1350<sup>0</sup>С ҳароратгача зичлашиш даражаси деярли ўзгармайди, 1350<sup>0</sup>С ҳароратдан юқорида эса зичлашиш даражаси камаяди. 1350<sup>0</sup>С ҳароратда зичлигининг камайиши очик ғовакликнинг ўзгариши билан тушунтирилади, 1350<sup>0</sup>С гача жадаллашган тарзда янги кристалл фазалар ҳосил бўлиб ва шу ҳароратда бу жараён тугайди. 1350<sup>0</sup>С ҳароратда эзилишга бўлган мустаҳкамлиги энг юқори кўрсаткичга эга бўлади, бундан юқори ҳароратда эса бу кўрсаткич камаяди, мустаҳкамликнинг энг юқори кўрсаткичлари ғовакликнинг ва сув ютувчанликнинг энг паст ҳароратига мос келади. 1300-1350<sup>0</sup>С ҳарорат оралиғида намуналарининг қаттиқ доначалари тўлиқ эриб суюқ ҳолатга ўтади, унинг миқдори заррачалар орасидаги ғовакни тўлдиришга этади, натижада сув ютувчанлик нолгача пасаяди. Ҳарорат ортиши билан қисқаришнинг ўзгариши бошқа хоссалар ўзгариши каби юз беради. Намуналарда 1350<sup>0</sup>С гача қисқариш бир текисда ортиб боради, 1350<sup>0</sup>С дан бошлаб қисқаришнинг камайиш жараёни кузатилади. Олинган натижаларга асосланиб, М<sub>1</sub> омихта 1350<sup>0</sup>С ҳароратда пишади дейишимиз мумкин.

5-расмда тажрибавий композициялар учун tgδ ўзгаришининг шишасимон фаза МНК га боғлиқлиги келтирилган.

Қорақалпоқ тальки, Каттақўрғон бентонити, Ангрэн каолини ва шолини қайта ишлаш саноати чиқиндиси асосида ишлаб чиқилган композицион намуналар учун tgδ МНК га боғлиқлиги 5-расмда кўрсатилган.



**5- расм. Намунавий композицияларнинг диэлектрик йўқотишнинг тангенс бурчагини молекуляр нисбат коэффициентиға боғлиқлиги**

Шундай қилиб, шишасимон фаза таркибидаги CaO, MgO ортиши ва SiO<sub>2</sub> камайиши билан кечадиган шишасимон фаза МНК нинг ортиши tgδ пасайишига олиб келиши аниқланди.

Стеатитли материалларда уларнинг диэлектрик хоссаларини қиздириш ҳарорати ва электр токи частотасинг ўзгаришига боғлиқлиги катта аҳамиятга эга, чунки стеатитли материаллар юқори ҳарорат ва частотада ишлатилади.

Кўпгина адабиётлардан маълумки, ҳарорат ортиши билан стеатитли материалларнинг хоссалари ёмонлашади. Хоссаларнинг ёмонлашиши кўпгина факторларга ва кўп ҳолларда стеатитли материал таркибига боғлиқ. Шу муносабат билан, ушбу ишда диэлектрик сингдрувчанлик, диэлектрик йўқотишнинг тангенс бурчаги ва солиштирма хажм электр қаршилигининг пишириш ҳароратига боғлиқлиги ўрганилди.

Стеатитли материалда ҳароратнинг кўтарилиши билан диэлектрик синдрувчанликнинг ортиши, диэлектрик йўқотишнинг тангенс бурчаги 300<sup>0</sup>C ҳароратгача сезиларсиз ортиб бориши ва яна ҳароратнинг кўтарилиши билан кескин ортиб бориши аниқланди.

Буни шундай изоҳлаш мумкин, ҳарорат кўтарилиши билан биринчидан, материал қизийди ва материал ичида қутбланиш ортиб, зарядлар ҳаракатланади, натижада, диэлектрик ичида материалнинг қизиши ва зарядларнинг ҳаракатланиши учун сафланадиган электр энергия миқдори ортади.

Пишиш ҳароратининг кўтарилиши билан солиштирма хажм электр қаршилигининг кўрсаткичи камаяди. Электр токи частотасининг ортиши материал хоссасининг ўзгаришига таъсир этади. 0,3-30 мгц диапазонли частотада M<sub>1</sub> стеатитли композициянинг диэлектрик сингдрувчанлиги (ε) ва диэлектрик йўқотишнинг тангенс бурчагининг (tgδ) электр токи частотасига боғлиқлиги ўрганилди.

Ўзгарувчан электр майдонинг 30 кгц частотасида ҳамма намуналарда tgδ ва ε энг кам кўрсаткичга эга эканлиги аниқланди. 0,3 кгц частотада ҳамма намуналарда tgδ ва ε энг юқори қийматга эга. tgδ ҳароратга боғлиқлик характериға қараб шуни тахмин қилиш мумкинки, шишасимон фаза таркибидаги сушт боғланган ишқорий металл ионларининг ҳаракати билан боғлиқ иссиқлик релаксацион жараёни келтириб чиқарадиган йўқотиш билан изоҳланади.

Фаза таркибидаги ғоваклар ҳам ионлашиш кучайиши натижасида юқори кучланишли майдондаги диэлектрик хоссалари кўрсаткичининг ўзгаришига таъсир этади.

Магний метасиликати, муллит кристалл фазалари текширилаётган материаллар M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> фаза таркибини асосини ташкил этувчи сифатида ионлари зич жойлашмаган кристалл структурали диэлектрикка киради. Бу кристаллар релаксацион қутбланиш билан характерланади ва шунинг учун диэлектрик йўқотишнинг ортишини келтириб чиқаради. Диэлектрик сингдрувчанликни ҳароратга боғлиқлигини tgδ аниқланган механизм каби изоҳлаш мумкин.

Электр токи частотасининг ортиши диэлектрик йўқотишнинг тангенс бурчаги ва диэлектрик сингдрувчанликни камайишига олиб келиши, бундан ташқари, электр токи частотаси қанча кўп бўлса, бу параметрларнинг хароратга боғликлиги шунча кам бўлиши аниқланди.

**«Маҳаллий хомашёлар ва шolini қайта ишлаш саноат чиқиндиси асосида магнезиал-стеатит электрокерамика композит материаллар олишнинг ресурс- тежамкор технологиясини ишлаб чиқиш ва уларнинг самарадорлиги»** деб номланган диссертациянинг бешинчи бобида ишлаб чиқилган магнезиал-стеатит электрокерамик композицион материалларнинг ва улар асосида изоляторлар олиш технологияни ишлаб чиқиш соҳасидаги илмий изланишлар ва уларни ишлаб чиқариш ҳамда тажриба ишлаб чиқариш синов натижалари, шунингдек, техник ва иқтисодий самарадорлиги берилган.

Яратилган магнезиал-стеатитли электрокерамик композициясини таркибини ишлаб чиқариш шароитида синовдан ўтказиш «НМваҚҚ» ИИЧБ «Олмалиқ КМК» АЖ шароитида олиб борилди. Ўзбекистон хомашёлари асосида олинган кўрсаткичлари яхшиланган стеатитли электрокерамик композицион материални лаборатория шароитида синтез қилиш натижасида олинган кўрсаткичлар ишлаб чиқариш шароитидаги синовларда ўз тасдиғини топди. Яратилган стеатитли электрокерамик композицион материалнинг асосий керамик-технологик ва диэлектрик хоссалари 4-жадвалда келтирилган.

4-жадвал

**Магнезиал-стеатитли электрокерамик композициянинг керамик-технологик ва диэлектрик хоссалари**

Кўрсаткичларнинг номи	ГОСТ талаби	кўрсаткичлари
Говаклилик, %	-	0,32
Зичлик, г/см <sup>-3</sup>	-	2,85
Эзилишга бўлган мустаҳкамлик, МПа	120	188
Электр мустаҳкамлик, кв/мм	20	29
Диэлектрик сингдрувчанлик	5-7	6,5
Диэлектрик йўқотишнинг тангенс бурчаги, tg δ, 10 <sup>-4</sup>	25	22
Солиштирма хажм электр қаршилиги, ом · см	· 10 <sup>13</sup>	5,8 · 10 <sup>13</sup>

4-жадвалдан кўришиб турибдики, М<sub>3</sub> композициянинг тажрибавий намуналарининг ишлаб чиқариш шароитида олинган керамик-технологик ва диэлектрик хоссалари стеатитли электрокерамик маҳсулотлари ишлаб чиқариш учун берилган ГОСТ 20419-83 талабларига жавоб беради.

М<sub>3</sub> композицион материални «НМваҚҚ» ИИЧБ «Олмалиқ КМК» АЖ шароитида ишлаб чиқарилганда кутилаётган иқтисодий самарадорлик йилига 1063600000 сўмни ташкил этди.

## ХУЛОСА

1. Комплекс физик-кимёвий анализлар ёрдамида Қорақалпоқ тальки, Каттакўрғон бентонитининг кимёвий-минералогик, гранулометриқ таркиби, физик-кимёвий ва технологик хоссалари аниқланди.

2. Талькни 1350<sup>0</sup>С ҳароратда қиздирилганда магнийнинг мета- ва ортосиликатлари ҳосил бўлиши аниқланди.

3. Маҳаллий хомашёлардан тальк, бентонит, каолин ва кремнезмли чиқинди асосида стеатитли электрокерамика композициясининг мақбул таркиби ишлаб чиқилди.

4. Яратилган стеатитли электрокерамик композициясининг фаза таркибида магний метасиликати, муллит, кварц, кристобалит кристалл фаза заррачалари орасидаги бўшлиқни тўлдириб турувчи шишасимон фазалари борлиги аниқланди.

5. Стеатитли электрокерамик композициясининг таркибида Қорақалпоқ тальки, Каттакўрғон бентонити ва шolini қайта ишлаш саноати чиқиндисини қўллаш, пишиш ҳароратини эталонга нисбатан 50<sup>0</sup> С га камайишига олиб келиши ёнилғи энергетик ресурсларини тежашни ва тайёр маҳсулот таннарҳини пасайишини таъминлаши аниқланди.

6. Ўзбекистон маҳаллий хомашёлари (тальк, бентонит, каолин, шolini қайта ишлаш саноати чиқиндиси) асосида стеатитли электрокерамик композицион материалларини олишнинг пластик усулига асосланган самарали технологияси ишлаб чиқилди.

7. Ишлаб чиқилган магнезиал-стеатитли композицион электрокерамик материаллар саноатнинг хомашё базасини кенгайтириши ва «Олмалик КМК» АЖнинг иқтисодий самарадорлигини ошишига олиб келиши аниқланди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.К/Т.03.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИТАРНОГО  
ПРЕДПРИЯТИЯ «ФАН ВА ТАРАККИЁТ» ТАШКЕНТСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА имени ИСЛАМА КАРИМОВА**

---

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
«ФАН ВА ТАРАККИЁТ» ТАШКЕНТСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
имени ИСЛАМА КАРИМОВА**

**ТУЙЧИЕВА МАХЛИЁ ОБИДХОН КИЗИ**

**РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ СОСТАВОВ И ЭНЕРГО-  
РЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОКЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**02.00.07-Химия и технология композиционных, лакокрасочных и резиновых  
материалов (технические науки)**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО  
ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Ташкент – 2022**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан под номером B2021.4.PhD/T2445**

Диссертация выполнена в государственном унитарном предприятии «Фан ва тараққиёт» Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова.

Автореферат диссертации размещен на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) на веб-странице Научного совета по адресу [www.gupft.uz](http://www.gupft.uz) и Информационно-образовательном портале «Ziyonet» по адресу [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)

**Научный руководитель:** **Туляганова Васи́ла Сунатиллаевна**  
доктор технических наук, с.н.с.

**Официальные оппоненты:** **Талипов Нигматилла Хамидович**  
доктор технических наук, с.н.с.

**Бекжанова Гулрух Бахтияровна**  
доктор технических наук, с.н.с.

**Ведущая организация:** **Гулистанский государственный университет**

Защита диссертации состоится « 08 » февраля 2022 года в 14<sup>00</sup> часов на заседании научного совета DSc.03/30.12.2019.К/Т.03.01 при ГУП «Фан ва тараққиёт» Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова. (Адрес: 100174, г. Ташкент, ул. Мирзо Голиба 7а тел.: (99871) 246-39-28; факс: (99871) 227-12-73; e-mail: fan va taraqqiyot@mail.ru, в здании «Фан ва тараққиёт» ГУП, 2 этаж, зал конференций).

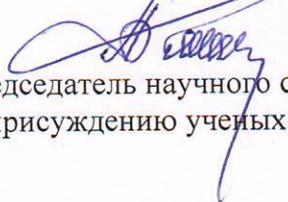
С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре ГУП «Фан ва тараққиёт» (зарегистрированный номером №29-21). (Адрес: 100174, г. Ташкент, ул. Мирзо Голиба 7а тел.: (99871) 246-39-28; факс: (99871) 227-12-73).

Автореферат диссертации разослан « 21 » январь 2022 г.  
(протокол реестра №29-21 от 8 ноября 2021 г.)



  
**С.С. Негматов**  
Председатель научного совета по присуждению  
учёных степеней, академик АН РУз.,  
Заслуженный деятель науки Республики  
Узбекистан, д.т.н., профессор

  
**М.Э. Икрамова**  
Ученый секретарь научного совета по присуждению  
учёных степеней, д.т.н., с.н.с.

  
**А.М. Эминов**  
Председатель научного семинара при научном  
совете по присуждению ученых степеней, д.т.н., с.н.с.

## ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии(PhD))

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** На сегодняшний день в мире композиционные электрокерамические материалы широко применяются в энергетической, нефтехимической, металлургической, машиностроении и других отраслях промышленности. В связи с этим, развитие электрокерамической отрасли промышленности в мире имеет особое экономическое значение, и спрос на композиционные электрокерамические материалы, используемые в электротехнике, интенсивно растет. В этом аспекте разработка эффективных составов и энерго-ресурсосберегающих технологий получения электрокерамических материалов для изоляции рабочих органов электромашин и механизмов имеет важное значение.

Во всем мире ведутся научно-исследовательские работы по разработке изоляционных электрокерамических материалов электротехнического назначения с высокими физико-механическими и электрофизическими свойствами, химико-минералогическим составом, обладающих высокочастотными-нагрузочными изоляционными свойствами. В этом аспекте создание методов получения эффективных составов изоляционных электрокерамических материалов и стеатитовых электрокерамических композиционных материалов и изделий из них, разработка энерго-ресурсосберегающей технологии и совершенствование существующих технологий имеют большое значение.

В республике проводится ряд мероприятий в области создания и производства электрохимических композиционных материалов для электротехнической промышленности и достигнуты определенные результаты. В программе Стратегических действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан отмечены важные задачи по «...стимулированию научно-исследовательской и инновационной деятельности, созданию эффективных механизмов внедрения инновационных достижений в практику»<sup>2</sup>. В связи с этим научные исследования, направленные на разработку электрокерамических композиционных материалов с высокими электрофизическими и физико-механическими свойствами представляет особое значение.

Данное диссертационное исследование, в определенной степени, служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан: от 7 февраля 2017 г. №УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» и Постановлениях от 25 октября 2018 г. №ПП-3983 «О мерах по развитию химической промышленности в Республике Узбекистан», от 24 августа 2019 г. №ПП-6079 «Цифровой Узбекистан-2030», а также в других нормативно-правовых документах, связанных с данной деятельностью.

---

<sup>2</sup> Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах»

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

**Степень изученности проблем.** В мировой практике по разработке в области керамических и электрокремнических материалов внесли определенный вклад следующие ученые, как Г.Н. Масленникова, А.И. Августиник, Х.О. Гевоян, И.А. Булавин, П.П. Будников, Ф.Я. Харитонов, Н.С. Костюков, Н. Schnelder, А.К. Chakravorty, W.C. Weil, К.Х. Schuller, В. Этиль, Е.Ф. Полукэктова, Г.А. Выдрик, И.Х. Мороз, Ж.А. Выдрина, V. Vouillement, В.И. Верещагин, С.Е. Берецева, С.А. Суворов, Ito Akio, J.J. Blanc, С. Roumezi, А.Э. Энглунд, Н.Н. Murray, В.А. Карманов, В.П. Паничев, Ф.Х. Таджиев, Н.А. Сирожиддинов, А.Х. Исмаилов, А.П. Эркаходжаева, И. Азимов, Р.И. Абдуллаева, А.М. Эминов и других.

Исходя из анализа существующих работ необходимо отметить, что исследования по изучению электрофизических и других эксплуатационных свойств при получении производств стеатитовых электрокерамических материалов и изделий из них ведутся не в полном объеме. Это создает необходимость изыскания новых видов сырьевых материалов и исследования возможности их применения в производстве электротехнической керамики, в том числе в производстве изделий – изоляторов. Наиболее эффективной, на наш взгляд, является разработка стеатитовых электрокерамических композиций путем их модифицирования введением активированной основы и получение на этой основе электроизоляционных материалов с высокими керамико-технологическими и диэлектрическими свойствами. Решению этой проблемы и посвящена настоящая диссертационная работа.

**Связь диссертационного исследования с научно-исследовательскими планами работ научно-исследовательского учреждения, где выполняется диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ в государственном унитарном предприятии «Фан ва тараккиёт» Ташкентского государственного технического университета имени И.Каримова по теме: №ИОТ-2015-7-6 «Освоение эффективной технологии получения композиционных электрокерамических материалов на основе местного и вторичного сырья».

**Цель исследования** является разработка эффективных составов и энерго-ресурсосберегающей технологии получения электрокерамических композиционных материалов.

**Задачи исследований:** изучение химико-минералогического состава, технологических свойств, процессов фазовых изменений при нагревании сырьевых материалов;

разработка составов и изучение керамико-технологических и диэлектрических свойств масс и образцов стеатитовых электрокерамических масс на основе местного сырья и отходов производства;

определение фазового состава, особенностей микроструктуры, установление механизма процесса фазообразования в зависимости от температуры обжига стеатитовой электрокерамической композиции на основе местного сырья и отходов производства;

исследование влияния фазового состава на керамико-технологические и диэлектрические свойства и разработка эффективных составов магнезиально-стеатитовой электрокерамической композиции;

разработка эффективной технологии производства стеатитовой электрокерамической композиции на основе местного сырья и кремнеземсодержащего отхода производства и опытно-производственная их апробация.

**Объектами исследования** являются: тальк, бентонит, каолин и кремнеземсодержащие отходы рисоперерабатывающей промышленности.

**Предмет исследования** является разработка эффективных составов масс магнезиально-стеатитовых электрокерамических композиционных материалов на основе местного сырья и отходов производства, исследование химико-минералогических, гранулометрических составов сырья, их физико-химических и технологических свойств, керамико-технологических и диэлектрических свойств магнезиально-стеатитовых электрокерамических композиционных материалов и разработка энергосберегающей технологии их получения.

**Методы исследования.** В диссертационной работе применены современные физико-химические методы анализа, в том числе, рентгенофазовый анализ (РФА), петрографический, электронно-микроскопический, дифференциально-термический анализы и другие стандартные методы.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

выявлен химико-минералогический состав талька Каракалпакстана и установлен механизм фазовых превращений при обжиге талька, а также выявлено образование протоэнтатита в процессе его обжига;

установлены химико-минералогический состав и технологические свойства бентонита Каттакурганского месторождения и выявлен состав исследуемого бентонита, состоящий из монтмориллонита, гидрослюда, каолинита;

разработаны оптимальные составы стеатитовых электрокерамических композиций с улучшенными физико-химическими и технологическими свойствами, имеющие пониженную температуру обжига;

выявлены особенности формирования микроструктуры и фазового состава стеатитовых электрокерамических композиционных материалов;

установлен механизм влияния стекловидной фазы на диэлектрические свойства магнезиально-стеатитовых электрокерамических композиционных материалов;

разработана технология и технологический регламент производства стеатитовых композиционных электрокерамических материалов.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработан оптимальный состав стеатитовых электрокерамических композиционных материалов на основе отечественного сырья и отходов рисово-перерабатывающей промышленности;

обоснованы перспективы использования местного сырья для производства электрокерамических изделий, физико-механические свойства которых улучшены за счет низкой температуры обжига;

установлено, что использование местного сырья: талька, бентонита, отходов рисового кремнезема в составе стеатитовой электрокерамической композиции позволяет снизить температуру обжига на 50<sup>0</sup>С по сравнению с нормативной, что обеспечивает экономию топливно-энергетических ресурсов и удешевление готового продукта.

**Достоверность полученных результатов** обоснована совокупностью использованных физико-химических (ИК-спектроскопия, рентгенофазовый анализ, дифференциально-термический анализ, оптическая микроскопия и химический анализ) методов анализа, а также структурными и технологическими исследованиями характеристик компонентов композиции.

#### **Научная и практическая значимость результатов исследований.**

Научная значимость полученных результатов исследования заключается в том, что путем установления механизма формирования микроструктуры и фазового состава магнезиально-стеатитового электрокерамического материала на основе местных сырьевых материалов и кремнеземсодержащего отхода производства разработаны эффективные составы электрокерамических композиционных материалов.

Практическая значимость исследований заключается в том, что обоснована перспектива использования местного сырья при создании композиционных электрокерамических изделий с высокими электроизоляционными качественными показателями при пониженных температурах обжига и их применение в электросетях, электротехнике и энергетике.

**Внедрение результатов исследования.** На основе проведенных научных исследований по разработке эффективных составов и энерго-ресурсосберегающей технологии получения электрокерамических композиционных материалов получены следующие результаты:

разработанные эффективные составы магнезиально-стеатитовых композиционных электрокерамических материалов были внедрены в НПО «РМиТС» АО «Алмалыкский ГМК» (справка АО «Алмалыкский ГМК» ХА-009605 от 24 ноября 2021 г.). В результате, появилась возможность расширить сырьевую базу отрасли по электрокерамическим материалам;

эффективная энергосберегающая технология получения магнезиально-стеатитовых композиционных электрокерамических материалов внедрены в НПО «РМиТС» АО «Алмалыкский ГМК» (справка АО «Алмалыкский ГМК» ХА-009605 от 24 ноября 2021 г.). В результате, были получены электрокерамические изделия с улучшенными физико-механическими и электроизоляционными свойствами.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования оглашены на 2 республиканских научно-технических и 2 международных конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано всего 10 научных работ. Из них 6 научных статей, в том числе 3 статьи в республиканских и 3 статьи в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

**Объем и структура диссертации.** Диссертационная работа изложена на 113 страницах и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, приложений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность и востребованность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи, выявлены объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий в Республике Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследований, раскрыты научно-теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведены производственные испытания и внедрения результатов исследований, результаты опрабации работы, сведения по опубликованным работам и структура диссертации.

В первой главе диссертации **«Современное состояние и физико-химические аспекты получения электрокерамических материалов»** приводится обзор научных исследований по теме диссертации, посвященный современному состоянию физико-химических исследований в области электрокерамики, о сырьевой базе керамической промышленности, перспективах использования сырьевых материалов в составе магнезиально-стеатитовых электрокерамических композиций, физико-химические основы процесса фазообразования.

Критически проанализировав литературные данные, определены основные направления исследований по разработке составов и технологии получения магнезиально-стеатитовых электрокерамических композиционных материалов с применением местных сырьевых компонентов.

Во второй главе диссертации **«Выбор объекта и методики получения и исследования физико-механических свойств керамических композиционных материалов»** формируется выбор и обоснование местных сырьевых материалов и кремнеземсодержащих отходов рисоперерабатывающей промышленности для разработки композиционных магнезиально-стеатитовых электрокерамических материалов, а также методов для проведения опытно-экспериментальных исследований. Приведена методика получения и определения физико-механических и диэлектрических свойств композиционных магнезиально-стеатитовых

электрокерамических материалов и изделий, а также методика обработки математико-статистической обработки полученных результатов.

В третьей главе диссертации «Исследование химико-минералогических составов и свойств исходных сырьевых материалов Узбекистана» отражены результаты исследований по изучению химико-минералогических составов и физико-химических свойств местных сырьевых материалов и кремнеземсодержащего отхода промышленности для получения композиционных электрокерамических материалов. Диссертационная работа посвящена исследованию новых источников местного и вторичного сырья для производства магнезиально-стеатитовых электрокерамических материалов талька и бентонита.

В Узбекистане имеются огромные залежи таких сырьевых материалов. Тальк является основным сырьевым компонентом для магнезиальных электрокерамических материалов. Результаты петрографического анализа показали, что основным минералом исследуемой пробы являются магнезит, также содержится гипс, кальцит, кварц, полевой шпат и др. Магнезит имеет тонкокристаллическую структуру, кристаллы прозрачные, бесцветные, зерна удлиненной формы, показатели преломления  $N_q = 1,700$ ;  $N_p = 1,509$ . Кристаллы обладают чешуйчатым строением, чешуйки беспорядочные, между ними наблюдается магнезит и доломит. Плотность талька 2,72-2,80 г/см<sup>3</sup>. Тальк Каракалпакии имеет зеленовато-серый цвет, результаты определения химического состава приведены в таблице 1.

Таблица 1

#### Химический состав талька Каракалпакии

	П.п.п.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Тальк	13,03	38,06	7,69	7,95	4,2	27,35	-	-	0,57	0,18

Результаты химического анализа показали, что проба характеризуется высоким содержанием MgO, достигающим до 27,35%. Огнеупорность талька составляет 1570°C.

При сопоставлении результатов определения химического состава талька с требованиями ГОСТа пришли к выводу о том, что исследуемая проба талька по своему составу соответствует марке ПМК-27 и представляет значительный интерес в качестве компонента в составе масс для магнезиальных электрокерамических материалов.

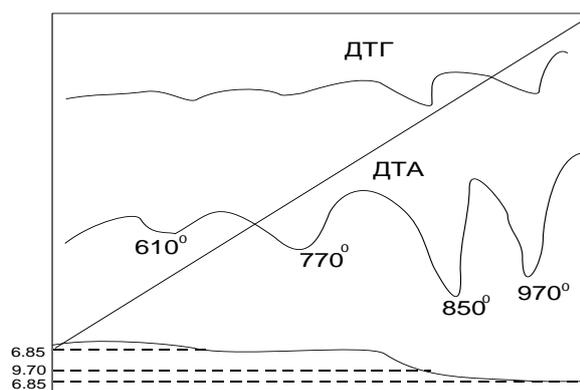


Рис. 1. Дериwатoгpамма талька Каракалпакии

На кривой дифференциально-термического анализа талька наблюдается четыре эндотермических эффекта (рис. 1). Первый эндотермический эффект с максимумом при  $610^{\circ}\text{C}$  обусловлен диссоциацией магнезита при этой температуре, эндотермический эффект при  $770^{\circ}\text{C}$  обусловлен распадом доломита на карбонаты магния и кальция с последовательным разложением карбоната магния. Эндотермический эффект при  $850^{\circ}\text{C}$  обусловлен разложением карбонатов кальция и магния. Четвертый эндотермический эффект при температуре  $970^{\circ}\text{C}$  связан с удалением химически связанной воды, содержащейся в тальке.

Из анализа рентгенограмм было установлено, что исследуемый тальк, в основном, состоит из талька с  $d/n = 0,924; 0,312; 0,234; 0,203; 0,1873$  нм, железистого хлорита с  $d/n = 0,1354; 0,712; 0,478; 0,356; 0,285$  нм.

Тальк характеризуется крупнокристаллическим пластинчатым строением. Учитывая, что строение и химический состав талька, входящего в состав массы электрокерамики, оказывает большое влияние на технологические свойства массы и физико-технические характеристики электрокерамики, одной из важных задач являлось выяснение процессов, происходящих при нагревании исследуемого талька.

Фазовые превращения талька в зависимости от температуры изучались с помощью рентгенофазового анализа. На рентгенограмме обожженного талька видны кристаллические фазы метасиликата магния, ортосиликата магния, железистый хлорид. Метасиликат магния характеризуется межплоскостными расстояниями  $d/n = 0,924; 0,462; 0,328; 0,316; 0,297; 0,288; 0,254$  нм, ортосиликат магния  $d/n = 0,1065; 0,336; 0,193$  нм, железистый хлорид  $d/n = 0,1354; 0,712; 0,478; 0,356; 0,285$  нм.

Результаты петрографического анализа показали, что в образцах содержится ортосиликат магния, имеющий показатели преломления:  $N_g = 1,668$  и  $N_p = 1,636$ , метасиликат магния, имеющий показатели преломления:  $N_g = 1,658$  и  $N_p = 1,650$ .

Таким образом, исследуемый тальк состоит, в основном, из гидросиликата магния и магнезита. В нем содержится в виде примесей гипс, кальцит, кварц, полевой шпат и др. Во время нагревания тальк дегидратируется, а затем при дальнейшем повышении температуры обжига образуется метасиликат магния.

Анализируя результаты, полученные при исследовании опытного образца талька Каракалпакии, нами было сделано заключение, что в целом исследуемый тальк представляет существенный интерес для регулирования скорости и механизма процессов, происходящих при обжиге электрокерамических материалов и позволяющих повысить прочность материала.

Каттакурганские бентониты представляются наиболее интересными по степени их изученности, по своим физико-химическим свойствам и перспективны с точки зрения их запасов.

Исследовались зеленая и серая разновидности Каттакурганского бентонита. С целью получения полной характеристики исследуемых бентонитов нами изучался комплекс физико-химических и технологических показателей

путем определения химико-минералогического состава, дисперсности, пластичности, воздушной и огневой усадки, водопоглощения, кажущейся плотности и механической прочности при сжатии и изгибе.

Сопоставляя результаты химического анализа различных типов глин можно сказать, что исследуемые бентонитовые глины Каттакурганского месторождения по своему химическому составу близки к Огланлинским бентонитам, которые применяются в производстве электро- и технической керамики.

Содержание  $\text{SiO}_2$  в исследуемом бентоните меньше, чем у огланлинского бентонита, но по содержанию  $\text{Al}_2\text{O}_3$  бентонит Огланлинского месторождения несколько уступает. Средний химический состав Каттакурганских серых и зеленых глин (фракции 0,001 мм) почти одинаков и близок к составам известных бентонитовых глин, таких как Пыжевские, Тазказганские и Асканские. Исследованием установлено, что оптимальная температура спекания Каттакурганского бентонита составляет  $1000^\circ\text{C}$ .

Минералогический состав исследуемого бентонита изучен методами электронной микроскопии, петрографическими и рентгенографическими анализами.

На основании проведенного анализа можно сказать, что исследуемый бентонит представляет собой монтмориллонитовую глину, сильно набухает и характеризуется высокой дисперсностью, в его составе содержится 50-57% монтмориллонита, 30-36% гидрослюды, 8-9% каолинита. В качестве примесей встречаются кварц, полевой шпат типа микроклина, кальцит, турмалин и сфен, бентонит имеет температуру спекания  $1000^\circ\text{C}$ , имеет низкую температуру начала деформации и вспучивания  $1150^\circ\text{C}$ , интервал спекшегося состояния  $50^\circ\text{C}$ . При термической обработке бентонита процесс мулитообразования начинается при более низких температурах ( $1150^\circ\text{C}$ ), чем у огнеупорных и тугоплавких глин. Вследствие этого его можно рассматривать как пламень, интенсифицирующий образование кристаллических фаз, в частности, муллита, в структуре электрокерамики. Благодаря высокой связующей способности, пластичности, Каттакурганский бентонит представляет интерес как заменитель огнеупорных глин и связующий компонент в составе электрокерамических масс. В случае получения положительных результатов применение бентонита взамен огнеупорной глины расширяет сырьевую базу, а также снижает себестоимость изделий.

Эффективным способом экономии природных минеральных сырьевых ресурсов является использование отходов различных производств вторичного сырья, которые позволяют расширить сырьевую базу керамической промышленности.

Ежегодно по Узбекистану в отвалы выбрасывается около 30-35 тыс. тонн таких отходов, которые после термической обработки превращаются в дорогостоящее кремнеземсодержащее сырье. Методом химического анализа проф. А.М. Эминовым установлен химический состав необожженного, а также обожженного при  $1350^\circ\text{C}$  с выдержкой 30 минут при конечной

температуре отхода рисоперерабатывающей промышленности. Считаем целесообразным апробировать этот отход в производстве стеатитовой электрокерамики в качестве сырья.

В четвертой главе диссертации «**Разработка эффективных составов и исследований свойств магнезиально-стеатитовой электрокерамических композиционных материалов на основе местного сырья**» приводятся результаты в области разработки составов и исследований физико-механических свойств композиционных магнезиально-стеатитовой электрокерамических материалов на основе местного минерального сырья и отхода производства.

В производстве магнезиально-стеатитовых электрокерамических изделий наиболее широкое применение имеет метод пластичного формования и горячего литья. Исходя из имеющихся возможностей, в данной работе принимались методы пластичного формования.

При определении шихтовых составов опытных масс ориентировались на литературные данные и химические составы исходных сырьевых материалов, чтобы создавать условия для образования в процессе обжига кристаллической фазы - метасиликата магнезия в достаточно большом количестве при относительно низкой температуре обжига. За исходную массу стеатита нами принята масса Гжельского завода, изготавливающаяся на основе талька Онежского месторождения. Шихтовые составы опытных масс приведены в таблице 2.

Таблица 2

### Шихтовые составы опытных масс

Наименование сырья	Индекс массы								
	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>
Каолин Ангренинский	15	17	20	25	30	20	25	20	20
Тальк Каракалпакии	21	22	20	35	30	35	45	50	55
Тальк обожженный	58	55	54	35	35	40	25	25	20
Бентонит Каттакурганский	3	3	3	2	2	2	2	2	2
Кремнеземсодержащий отход	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Углекислый барий (BaCO <sub>3</sub> )	1	1	1	1	1	1	1	1	1

В процессе обжига из состава талька удаляется влага, в результате чего происходит интенсивная усадка массы. Для устранения интенсивной усадки масс, в процессе обжига часть талька подвергали предварительному обжигу.

Для этого тальк измельчали до размера 1 - 2 мм, затем обжигали при температуре 1350<sup>0</sup>С с выдержкой при конечной температуре 30 минут.

Опытные массы были приготовлены в лабораторных условиях в виде пластичной массы. Далее опытные образцы подвергались обжигу при температурах 1200, 1250, 1300, 1350<sup>0</sup>С.

Химический состав исходных сырьевых материалов приведены в таблице 3.

**Химический состав исходных сырьевых материалов**

Наименование сырья	Содержание окислов, мас. %									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	R <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Ппп
Каолин	51,2	35,7	0,28	-	0,14	0,44	0,12	0,21	-	11,85
Тальк	62,04	0,43	3,23	-	31,75	0,35	-	-	-	2,2
Бентонит	59,56	17,68	3,20	0,50	1,90	0,69	1,44	1,92	0,91	12,04
Кремнезем-содержащий отход	81,5	13,76	1,58	-	1,25	1,42	0,34	0,15	0,24	0,23

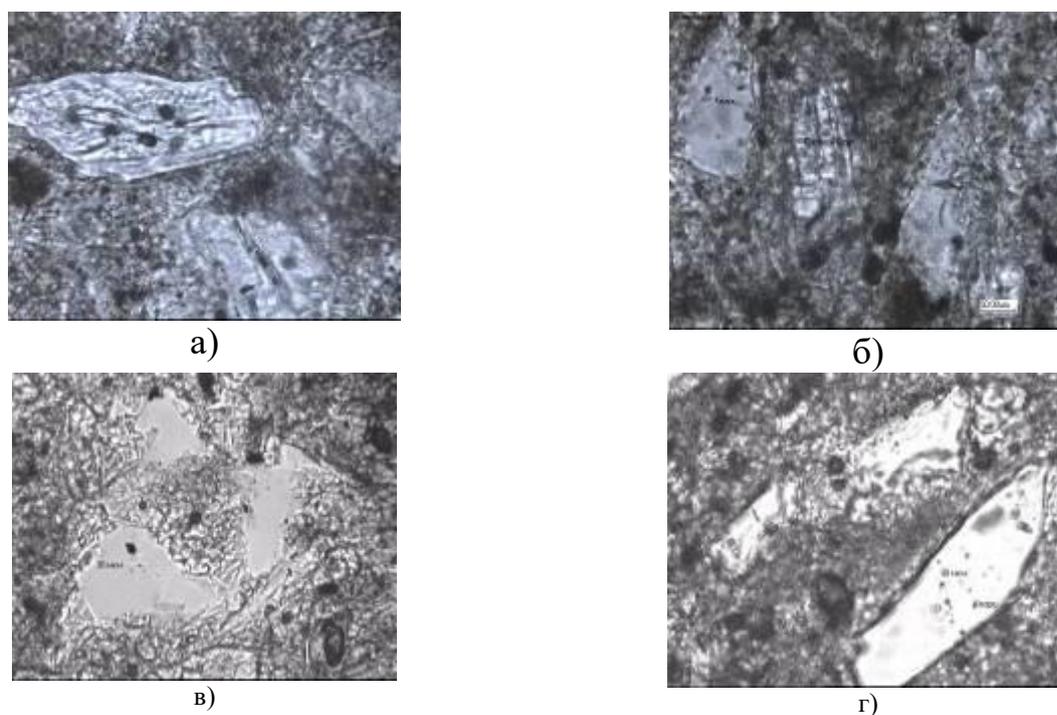
Фазовый состав опытных образцов является особо важным, так как все эксплуатационные свойства зависят от этих составов. Фазовый состав опытных образцов определялся методом петрографического, электронно-микроскопического и рентгеноструктурного анализов.

Петрографический анализ образцов исследовали на прозрачных шлифах в поляризационном свете и в порошковых препаратах иммерсионным методом.

Результаты петрографического исследования опытных образцов из массы М<sub>1</sub>: а) Образец, обожженный при температуре 1200<sup>0</sup>С (рис. 2 а) имеет неоднородную грубозернистую структуру, имеются поры в значительном количестве. Содержится метатальк с N<sub>g</sub>= 1,575; N<sub>p</sub>=1,540 ; кварц с N<sub>e</sub> = 1,552; N<sub>o</sub>=1,540 стекловидная фаза, отдельные зерна метакаолинита.

б) Образец, обожженный при температуре 1250<sup>0</sup>С (рис. 2 б). Структура образца неоднородная, мелкозернистая, имеются поры размером 20-25 мкм. В основной массе содержатся стекловидная фаза, которая образуется за счет плавления легкоплавких компонентов. В образцах наблюдается появление зерен муллита из продуктов разложения метакаолинита размером 2-3 мкм, зерна кварца размером 20-25 мкм, наблюдается в незначительном количестве метасиликат магния. Часть кварца при высоких температурах переходит в α-кристобалит, имеющий N<sub>e</sub> = 1,484; N<sub>o</sub> = 1,487.

в) Образец, обожженный при температуре 1300<sup>0</sup>С (рис. 2 в). Структура образца неоднородная, мелкозернистая, имеются поры округленной формы, их величина достигает 20-25 мкм. Основная масса состоит из метасиликата магния, стеклофазы, муллита и кварца, которая распределена зерна метасиликата магния, имеются отдельные участки скоплений мелкозернистого муллита с размером зерен 2-3 мкм. Стекловидная масса распределена по всему объему. Содержание кварца несколько уменьшено по сравнению с образцом, обожженным при температуре 1250<sup>0</sup>С. Содержание зерен кристобалита встречается чаще, что установлено определением показателей светопреломления кварца и кристобалита. Вокруг зерен кварца имеются кайма оплавления.



Температура обжига образцов  $^{\circ}\text{C}$  : а) 1200; б) 1250; в) 1300; г) 1350  
**Рис. 2. Микрофотография опытных образцов из массы М<sub>1</sub>**

г) Образец, обожженный при температуре  $1350^{\circ}\text{C}$  (рис. 2 г). Структура микрокристаллическая, плотная, однородная, преобладающая фаза-метасиликат магния размером 2-6 мкм. В основной массе содержатся муллит ( $N = 1,578$ ) с размером зерен 3-4 мкм. Кристаллы новообразований окружены цементирующими тонкими пленками стекловидной фазы. Содержание метасиликата магния по визуальному определению достигает 55-58%. В основной массе содержится в незначительном количестве зерна кварца имеющий неправильную осколочную форму, вокруг зерен кварца имеется кайма оплавления толщиной 8-10 мкм.

Таким образом, результаты петрографического анализа показали, что опытные образцы в процессе обжига претерпевают физико-химические процессы, в результате которых образуются новые кристаллические фазы метасиликата магния в виде протоэнстатита в количестве 55-61%, муллит, кристобалит и стекловидная фаза.

Установлено, что опытные образцы, обожженные при температуре  $1350^{\circ}\text{C}$ , имеют нормально сформированную, плотную структуру. Основными фазами являются кристаллическая фаза метасиликата магния в виде протоэнстатита, в нем содержится кварц, муллит, кристобалит и стекловидная фаза. Количество последних колеблется в пределах 38-40%. Размеры кристаллов протоэнстатита составляет 2-6 мкм,  $N_g=1,660$ ;  $N_p = 1,652$ .

Для решения поставленной задачи нами проведены электронно-микроскопическое исследование опытных образцов из стеатитовых композиционных смесей, обожженных при различных температурах.

Электронно-микроскопический анализ разработанных магнезиально-стеатитовых композиционных материалов показал, структура мелкокристаллическая, основная масса состоит из кристаллических фаз метасиликата магния, кварца, присутствует муллит. Среди основной массы в незначительном количестве встречаются зерна кварца. Кристаллы формируются при температурах 1200<sup>0</sup>С в мельчайшем виде, они вытягиваются в блоки. При температуре 1250<sup>0</sup>С кристаллы становятся более крупными, они имеют сферическую форму, агрегируются, имеют четкие очертания. По мере повышения температуры обжига образцов из масс М<sub>1</sub>, процесс формирования их структуры полностью завершается, усиливается образование метасиликата магния, муллита. Кварц частично переходит в кристобалит, стекловидная фаза как бы цементирует эти кристаллические фазы.

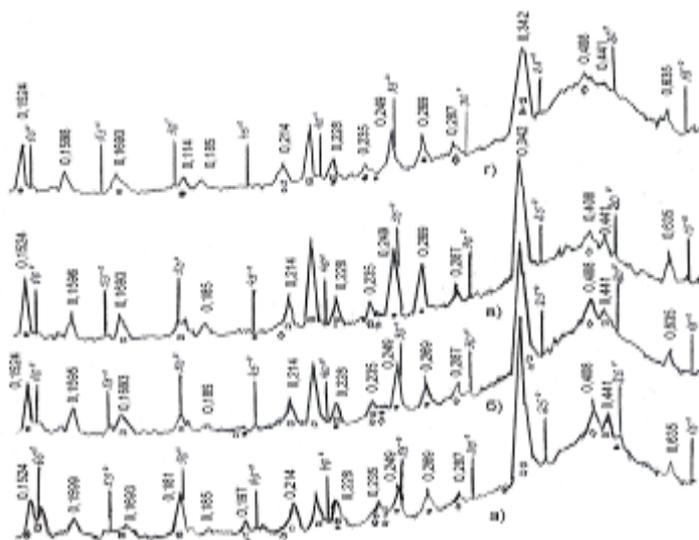
Проведено рентгенографическое исследование фазового состава опытных образцов, обожженных при температурах 1200, 1250, 1300, 1350<sup>0</sup>С из композиционных смесей на основе местного сырья и отхода промышленности. Рентгенограммы образцов из массы М<sub>1</sub> приведены на рисунке 3.

Как видно из рис. 3 а, в образцах из композиционной смеси М<sub>1</sub>, обожженной при температуре 1200<sup>0</sup>С, в виде кристаллических фаз присутствует β-кварц (d/n = 0,424; 0,334; 0,286; 0,245; 0,227; 0,181; 0,152 нм), метакаолинит (d/n = 0,515; 0,739 нм), метатальк (d/n = 0,457; 0,248; 0,192 нм), кристаллическая решетка разрушена, видимо, вследствие плавления легкоплавких компонентов.

В образцах из композиционной смеси М<sub>1</sub> (рис. 3 б), обожженных при 1250<sup>0</sup>С, в виде кристаллических фаз присутствует метасиликат магния-протоэнстатит (d/n = 0,462; 0,317 нм), количество β-кварца уменьшилось (d/n = 0,424; 0,286; 0,245; 0,212; 0,152 нм), кристобалит (d/n = 0,404; 0,314; 0,249; 0,152 нм), появляется муллит в незначительном количестве (d/n = 0,286; 0,269; 0,254; 0,188 нм).

В образцах из композиционной смеси М<sub>1</sub> (рис. 3 в), обожженных при температуре 1300<sup>0</sup>С, наблюдается, что кристаллическая фаза протоэнстатита увеличилась, т.е. появились пики с (d/n = 0,462; 0,317; 0,272 нм). Количество муллита значительно больше, содержание β-кварца уменьшилось, а количество кристобалита стало больше, что подтверждается появлением пиков при d/n = 0,314; 0,243 нм, присущих кристобалиту.

В образцах из композиционной смеси М<sub>1</sub>, обожженных при 1350<sup>0</sup>С (рис. 3 г), отмечается, что основной составной кристаллической фазой является метасиликат магния в виде протоэнстатита с d/n = 0,462; 0,317; 0,272; 0,212 нм, содержание β-кварца уменьшается за счет перехода в кристобалит, количество образующегося муллита продолжает увеличиваться. При этой же температуре в образцах обнаружены клиноэнстатит с d/n = 0,254; 0,246; 0,214 нм.



Температура обжига образцов, °С: а)1200, б)1250, в)1300, г)1350;  
 □ - протоэнстатит; ◇ - клиноэнстатит; ● - энстатит  
**Рис.3. Рентгенограммы опытных образцов из массы М<sub>1</sub>**

Анализируя рентгенограммы, можно сказать, что в образцах, обожженных при 1200°С, в виде кристаллических фаз присутствует кварц, метатальк, метакаолинит. В материалах, обожженных при 1250°С, кристаллизация метасиликата магния, муллита характеризуется меньшей интенсивностью пиков. В образцах, обожженных при 1300°С, кристаллизация метасиликата магния в виде протоэнстатита происходит более интенсивно, образование кристобалита с повышением температуры обжига характеризуется ростом интенсивностей пиков до 1350°С.

Исследование показало, что на рентгенограммах других составов стеатитовых композиционных смесей, обожженных при различных температурах, наблюдались аналогичные явления процессов фазообразования.

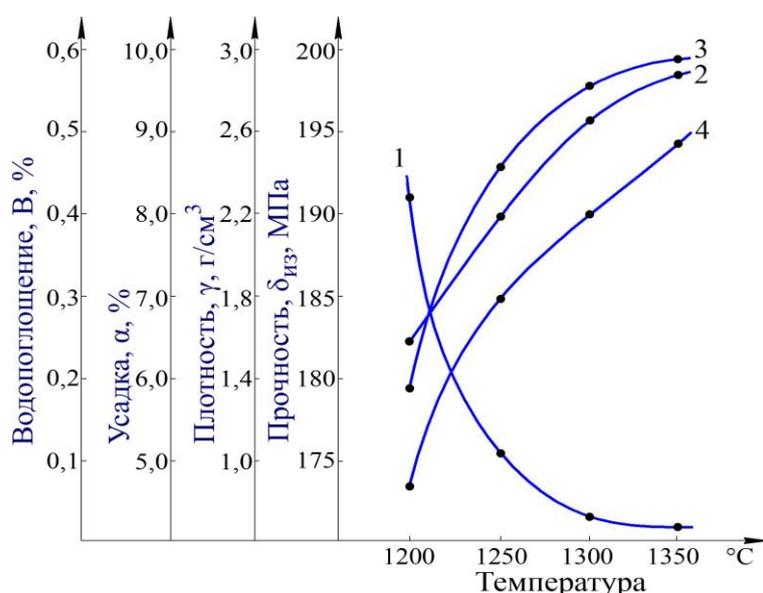
Таким образом, изучение фазовых превращений в структуре стеатитовых композиций, разработанных на основе местного сырья и отхода промышленности методом рентгенофазового анализа показало, что фазовый состав разработанных стеатитовых электрокерамических композиционных материалов состоит из кристаллических фаз протоэнстатита, муллита, кварца, кристобалита и в незначительном количестве клиноэнстатита.

Процесс спекаемости электрокерамических материалов зависит от многих факторов, состава шихты, химических составов исходных компонентов, физико-химических процессов, происходящих при обжиге, характера изменения керамико-технологических свойств и др.

Исследования процесса спекаемости стеатитовых электрокерамических композиций изучался косвенно, то есть путем определения характера изменения керамико-технологических свойств в зависимости от температуры обжига, результаты исследований приведены на рисунке 4.

При температуре 1250°С (рис.4) происходит начало наиболее интенсивного спекания, т.е. начинается второй период спекания. Образующаяся жидкая фаза в этом периоде содержит в своем составе значительное количество щелочных и щелочноземельных оксидов, которые

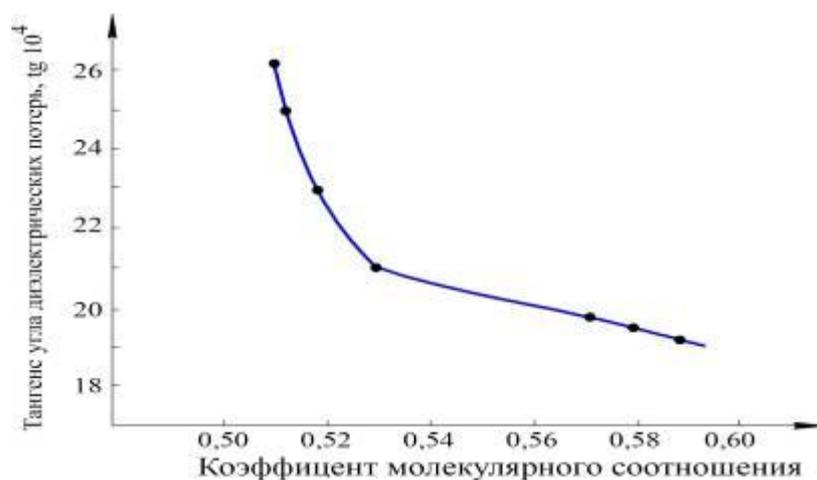
понижают вязкость расплава, делая его весьма подвижным и агрессивным. Наиболее заметное изменение плотности, прочности, водопоглощения, усадки и др. свойства для массы  $M_1$ , наблюдается в интервале температур 1200-1300<sup>0</sup>С. Это можно объяснить увеличением размера зерен, который, в свою очередь, влияет на изменение формы и размера пор, т.е. с уменьшением диаметра пор давление в них возрастает. Дальнейшее увеличение температуры обжига обуславливает быстрое уплотнение исследуемых смесей. До температуры 1350<sup>0</sup>С в стеатитовых смесях степень уплотнения остается примерно одинаковой, выше 1350<sup>0</sup>С наблюдается её уменьшение. Уменьшение плотности при температуре выше 1350<sup>0</sup>С объясняется изменением открытой пористости. Интенсивное образование новых кристаллических фаз в образцах происходит до 1350<sup>0</sup>С и она заканчивается при этой температуре. При температуре 1350<sup>0</sup>С достигается максимальное значение предела прочности при статическом изгибе опытных образцов, выше этой температуры снова снижается. Температура максимального значения прочности совпадает температурой минимума пористости и водопоглощения.



**Рис. 4. Зависимость водопоглощения (1), усадки (2), плотности (3), прочности (4) стеатитовых материалов состава  $M_1$  от температуры обжига**

В образцах в температурном интервале 1300-1350<sup>0</sup>С достигается полная смачиваемость твердых зерен образующейся жидкостью, количество которой достаточно для заполнения пор между частицами, за счет чего достигается почти нулевое водопоглощение. С повышением температуры обжига происходит изменение усадки аналогично кривым других свойств. До температуры 1350<sup>0</sup>С в образцах происходит плавное повышение усадки, а начиная с 1350<sup>0</sup>С - происходит её снижение. Анализируя полученные данные можно сказать, что массы  $M_1$  спекаются при 1350<sup>0</sup>С.

На рисунке 5 приведен характер изменения  $\text{tg}\delta$  от КМС стеклофазы для опытных масс.



**Рис. 5. Зависимость тангенс угла диэлектрических потерь от коэффициента молекулярного соотношения стеклофазы опытных масс**

Из рисунка 5 видно, что выявлена зависимость  $\text{tg}\delta$  от КМС стеклофазы для исследуемых опытных масс, разработанных на основе талька Каракалпакии и бентонита Каттакурганского месторождения с применением Ангренского каолина и отхода промышленности.

Таким образом, установлено, что снижение  $\text{tg}\delta$  вызвано увеличением КМС стеклофазы в результате повышения в ней концентрации  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  и уменьшение  $\text{SiO}_2$ .

В стеатитовых материалах большое значение имеет зависимость диэлектрических свойств материала от изменения температуры нагрева и частоты электрического тока, так как стеатитовые материалы эксплуатируются при повышенных температурах и частотах.

Из многих литературных источников известно, что с повышением температуры ухудшаются свойства стеатитовых материалов. Ухудшение свойств зависит от многих факторов, и в большей мере от состава стеатитовых материалов. В связи с этим, в данной работе нами исследована зависимость диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь, удельного объемного сопротивления от температуры обжига.

Установлено, что диэлектрическая проницаемость стеатитового материала при повышении температуры возрастает, тангенс угла диэлектрических потерь незначительно повышается до температуры  $300^\circ\text{C}$ , далее с повышением температуры он резко повышается. Это объясняется тем, что с повышением температуры, во-первых, материал нагревается и внутри материала происходит увеличение поляризации и движение зарядов, благодаря чему увеличивается расход электроэнергии внутри диэлектрика на обогрев материала и на движение зарядов. С повышением температуры обжига удельное объемное электрическое сопротивление значительно уменьшается. Увеличение частоты электрического тока оказывает влияние на свойства материала. Исследованы зависимость диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) и тангенса угла диэлектрических потерь ( $\text{tg}\delta$ ) стеатитовой

композиции  $M_1$  от частоты электрического тока в диапазоне частот 0,3-30 мГц.

Установлено, что наименьшее значение  $\text{tg}\delta$  и  $\epsilon$  наблюдается во всех образцах при частоте переменного электрического поля 30 кГц. Наибольшее значение  $\text{tg}\delta$  и  $\epsilon$  имеют все образцы при частоте 0,3 кГц. Характер зависимости  $\text{tg}\delta$  от температуры позволяет предполагать, что он обусловлен преобладающими потерями, вызванными тепловыми релаксационными процессами, связанными с движением слабо связанных ионов щелочных металлов, содержащихся в стеклофазе. Имеющиеся в фазовом составе последнего поры тоже влияют на изменение значений этих диэлектрических свойств при высоких напряжениях поля вследствие развития ионизации.

Кристаллические фазы метасиликата магния, муллит, как основные составляющие фазового состава исследуемого материала  $M_1$ , относятся к диэлектрикам с кристаллической структурой с неплотной упаковкой ионов. Эти же кристаллы характеризуются релаксационной поляризацией и поэтому вызывают повышение диэлектрических потерь. Зависимость диэлектрической проницаемости от температуры можно объяснить тем же механизмом, что и для определения  $\text{tg}\delta$ .

Установлено, что увеличение частоты электрического тока приводит к уменьшению тангенса угла диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости. Кроме того, чем больше частота электрического тока, тем меньше зависимость этих параметров от температуры.

В пятой главе диссертации **«Разработка энерго-ресурсосберегающей технологии получения магнезиально-стеатитовых электрокерамических композиционных материалов на основе местного сырья и их эффективности»** приведены результаты исследований в области разработки технологии, выпуска и опытно-производственных испытаний разработанных магнезиально-стеатитовых электрокерамических композиционных материалов получения композиционных электрокерамических материалов, а также технико-экономическая эффективность.

Опытно-производственные испытания разработанных составов масс магнезиально-стеатитовых электрокерамических композиций проведены на НПО «РМиТС» АО «Алмалыкский ГМК»

В процессе производственных испытаний подтверждены результаты лабораторных данных по синтезу стеатитовых электрокерамических композиционных материалов с улучшенными свойствами на основе местных сырьевых материалов. Основные керамико-технологические и диэлектрические свойства полученных стеатитовых электрокерамических композиционных материалов приведены в таблице 4.

Как видно из данных таблицы 4, керамико-технологические и диэлектрические характеристики опытных образцов из массы  $M_3$ , полученных в производственных условиях, отвечают требованиям ГОСТ 20419-83 для производства стеатитовых электрокерамических изделий.

**Керамико-технологические и диэлектрические свойства  
магнезиально-стеатитовой электрокерамической композиции**

Наименование показателей	Требования по ГОСТу	Показатели
Пористость, %	-	0,32
Плотность, г/см <sup>-3</sup>	-	2,85
Предел прочности при изгибе, МПа	120	188
Электрическая прочность, Кв/мм	20	29
Диэлектрическая проницаемость	5-7	6,5
Тангенс угла диэлектрических потерь, tgδ, 10 <sup>-4</sup>	25	22
Удельн. объемн. электрич. сопротив., ом · см	· 10 <sup>13</sup>	5,8 · 10 <sup>13</sup>

Расчетный ожидаемый экономический эффект от применения массы М<sub>3</sub> в условиях НПО «РМиТС» АО «Алмалыкский ГМК» составляет 1063600000 сум в год.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлен химико-минералогический, гранулометрический состав Каракалпакского талька, изучены физико-химические и технологические свойства Каттакурганского бентонита с помощью комплексных физико-химических анализов.

2. Выявлено, что при нагревании талька до 1350 °С образовывались мета- и ортосиликаты магния.

3. Разработан оптимальный состав стеатитовой электрокерамической композиции на основе местного сырья: талька, бентонита, каолина и кремнеземсодержащих отходов.

4. Установлено, что фазовый состав созданной стеатитовой электрокерамической композиции содержит метасиликат магния, муллит, кварц, кристобалит и стекловидные фазы, заполняющие промежуток между частицами кристаллической фазы.

5. Выявлено, что использование Каракалпакского талька, Каттакурганского бентонита, кремнеземсодержащих отходов промышленности в составе стеатитовой электрокерамической композиции приводит к снижению температуры обжига на 50 °С по сравнению со стандартной, что позволяет экономить топливно-энергетические ресурсы и удешевлять готовую продукцию.

6. Разработана эффективная технология на основе пластической технологии производства стеатитовых электрокерамических композиционных материалов на основе местного сырья Узбекистана (тальк, бентонит, каолин, отхода рисоперерабатывающей промышленности).

7. Установлено, что разработанные магнезиально-стеатитовые композиционные электрокерамические материалы расширяют сырьевую базу отрасли и повышают экономическую эффективность АО «Алмалыкский ГМК».

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY  
NAMED AFTER ISLAM KARIMOV  
SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.03/30.12.2019.K/T.03.01 AT STATE UNITARY ENTERPRISE  
«FAN VA TARAKKIYOT»**

---

**STATE UNITARY ENTERPRISE «FAN VA TARAKKIYOT»  
TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY  
NAMED AFTER ISLAM KARIMOV**

**TUYCHIEVA MAKHLIYE OBIDHON KIZI**

**DEVELOPMENT OF EFFECTIVE COMPOSITIONS AND ENERGY-  
RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY FOR OBTAINING CERAMIC  
ELECTRICAL INSULATING COMPOSITE MATERIALS**

**02.00.07- Chemistry and technology of composite, paint and varnish and rubber  
materials (technical sciences)**

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

**Tashkent – 2022**

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the republic of Uzbekistan under number B2021.4.PhD/T2445

The dissertation has been prepared at the State Unitary Enterprise «Fan va tarakkiyot» of Tashkent State Technical University named after Islam Karimov.

The abstract of the dissertation is issued in three languages (uzbek, russian, english (resume)) on the scientific council website [www.gupft.uz](http://www.gupft.uz) and on website of «Ziyonet» Information and Educational portal [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz).

**Research supervisor:** **Tulyaganova Vasila Sunatillayevna**  
doctor of technical sciences, s.r.

**Official opponents:** **Talipov Nigmatilla Hamidovich**  
doctor of technical sciences, s.r.

**Bekzhanova Gulrukh Bakhtiyarovna**  
doctor of technical sciences, s.r.

**Leading organization:** **Guliston State University**

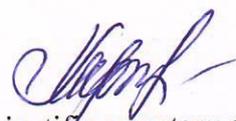
The defense will take place « 08 » February 2022 at 14<sup>00</sup> the meeting of Scientific one time council No.DSc.03/30.12.2019.K/T.03.01 at Tashkent State technical university named after Islam Karimov at State unitary enterprise «Fan va tarakkiyot», (Address:100174, Tashkent city, Almazar district, Mirzo Golib street, 7a. tel/fax:(+99871) 246-39-28/(+998971) 227-12-73,e-mail:[gupft@inbox.uz](mailto:gupft@inbox.uz)).

The dissertation can be reviewed at the information resource centre of the state unitary enterprise «Fan va tarakkiyot», (is registered under No.29). Address:100174, Tashkent city, Almazar district, MirzoGolib street, 7a. tel/fax:(+99871) 246-39-28/(+998971) 227-12-73,e-mail: [fan va tarakkiyot@mail.ru](mailto:fan_va_taraqkiyot@mail.ru)).

Abstract of dissertation sent out on «21» January 2022 y.  
(mailing report No.29-21, 8.11. 2021 y.).

 **S.S. Negmatov**

Chairman of the scientific council for awarding scientific degrees,  
Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,  
Honored Scientist of the Republic Uzbekistan,  
doctor of technical sciences, professor



**M.E. Ikramova**  
Scientific secretary of the scientific council  
awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, s.r.a



  
**A.M. Eminov**  
Chairman of the academic seminar under the  
scientific council awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor

## INTRODUCTION (abstract of (PhD) thesis)

**The aim of the research work** is to develop effective formulations and energy-resource-saving technology for producing electro-ceramic composite materials.

**The object of the research work** are talc, bentonite, kaolin and silica-containing waste from the rice processing industry.

**Scientific novelty of the research work:**

the chemical and mineralogical composition of talc of Karakalpakstan has been revealed, and the mechanism of phase transformations during talc firing has been established, and it has also been revealed that protoenstatite is formed during its firing;

the chemical and mineralogical composition and technological properties of bentonite of the Kattakurgan deposit were established and it was revealed that the studied bentonite consists of montmorillonite, hydrosilude, kaolinite;

optimal compositions of steatite electro-ceramic compositions with improved properties having a reduced firing temperature have been developed;

the features of the formation of the microstructure and phase composition of magnesia-steatite electro-ceramic composite materials based on local raw materials, a feature of the structure of which is a high content of steatite ( $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ ), a glassy phase, and a small amount of mullite and quartz, are revealed;

the mechanism of the influence of the vitreous phase on the dielectric properties of magnesia-steatite electro-ceramic composite materials is established;

the technology and technological regulations for the production of steatite composite electro-ceramic materials have been developed.

**Implementation of the research results.** Based on scientific results on the development of effective compounds and energy-saving technologies of receiving electric-ceramic composites obtained the following results:

developed effective formulations of magnesium-this electric-ceramic composite materials were introduced in the NGO «RMID» JSC «Almalyk MMC» (certificate of JSC «Almalyk MMC» XA -009605 from November 24, 2021). As a result, has the opportunity to expand the raw material base of the industry, to reduce the import of electric-ceramic materials from abroad;

the developed effective energy-saving technology for the production of magnesia-steatite composite electro-ceramic materials was introduced in NGO «RMID» of «Almalyk MMC» JSC (reference of «Almalyk MMC» JSC XA-009605 dated November 24, 2021). As a result, it became possible to obtain electro-ceramic products with improved physical, mechanical and electrical insulation properties, and also contributed to the economic efficiency of «Almalyk MMC» JSC.

**The structure and volume of the thesis.** The dissertation work is presented on 113 pages and consists of an introduction, five chapters, a conclusion, a list of references, and appendices.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**  
**I бўлим (I часть; I part)**

1.Туляганова В.С., Абдуллаева Р.И., Тўйчиева М.О., Умирова Н.О., Аззамова Ш.А. Петрографическое и рентгенографическое исследования керамических композиций на основе местного сырья // Universum: технические науки. Выпуск: 8(89), Москва, 2021, Часть 2. - С. 117-122 (02.00.00 №1).

2. Туляганова В.С., Абдуллаева Р.И., Тўйчиева М.О., Умирова Н.О., Аззамова Ш.А. Разработка и исследование керамико-технологических и диэлектрических свойств композиционных электрокерамических материалов // Universum: технические науки. Выпуск: 8(89), Москва, 2021, Часть 2. – С. 293-298 (02.00.00 №1).

3. Туляганова В.С., Абдуллаева Р.И., Негматов С.С., Тўйчиева М.О., Шарипов Ф.Ф., Валиева Г.Ф. Исследование процесса спекаемости электрокерамических композиций // Universum: технические науки. Выпуск: 10(91), Москва, 2021, Часть 4, - С. 44-46 (02.00.00 №1).

4. Туляганова В.С., Абдуллаева Р.И., Негматов С.С., Тўйчиева М.О., Шарипов Ф.Ф., Джаббаров Б.Т., Ходжаева Д.Н Состав и свойства электрокерамических композиций на основе отхода промышленности // Композиционные материалы, №3, 2021, - С. 179-181 (02.00.00 №4).

5. Туляганова В.С., Абдуллаева Р.И., Негматов С.С., Тўйчиева М.О., Шарипов Ф.Ф., Ходжаева Д.Н. Фазовый состав электрокерамических композиционных материалов с улучшенными свойствами // Композиционные материалы, №3, 2021, - С. 200-202 (02.00.00 №4).

6. Туляганова В.С., Абдуллаева Р.И., Негматов С.С., Тўйчиева М.О., Шарипов Ф.Ф., Ходжаева Д.Н. Использование углекислого бария при получении композиционных электрокерамических материалов // Композиционные материалы, №3, 2021, - С. 208-209 (02.00.00 №4).

**II бўлим (II часть; II part)**

1 Туляганова В.С., Абдуллаева Р.И., Негматов С.С., Тўйчиева М.О. Выбор объекта и методики получения исследований физико-механических свойств керамических композиционных материалов // Республиканская научно-техническая конференция «Ресурсо – и энергосберегающие, экологически безвредные композиционные и нанокomпозиционные материалы», 25-26 апреля, 2019, - С. 427.

2. Туляганова В.С., Абдуллаева Р.И., Негматов С.С., Тўйчиева М.О. Электронно-микроскопический анализ разработанных электрокерамических композиционных материалов // Международная Узбекско-Белорусская научно-техническая конференция «Композиционные материаллополимерные

материалы для различных отраслей промышленности и сельского хозяйства», 21-22 мая, 2020, - С.460-462.

3. Туляганова В.С., Абдуллаева Р.И., Негматов С.С., Тўйчиева М.О., Умирова Н.О., Аззамова Ш.А., Баракаев С.Т. Объект исследования и методы получения опытных образцов композиционных электрокерамических материалов // Международная научно-техническая конференция «Композиционные материалы на основе техногенных отходов и местного сырья: состав, свойства и применение», Конференция посвящается 30-летию Независимости Республики Узбекистан и 80-летию академика АН РУз, Заслуженного деятеля науки РУз Академика Академии Международной Высшей школы Почетного доктора наук ИММС им. В.А. Белого НАНБ Негматова Сайибжана Садиқовича, 16-17 сентября 2021 года. - С. 140-143.

4. Туляганова В.С., Абдуллаева Р.И., Негматов С.С., Тўйчиева М.О., Аззамова Ш.А., Умирова Н.О., Хаминов Б.Н. Исследование процесса спекания и физико-механические свойства электрокерамических композиций // Международная научно-техническая конференция «Композиционные материалы на основе техногенных отходов и местного сырья: состав, свойства и применение», Конференция посвящается 30-летию Независимости Республики Узбекистан и 80-летию академика АН РУз, Заслуженного деятеля науки РУз Академика Академии Международной Высшей школы Почетного доктора наук ИММС им. В.А. Белого НАНБ Негматова Сайибжана Садиқовича, 16-17 сентября 2021 года. - С. 162-165.