

**УМУМИЙ ВА НООРГАНИК КИМЁ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.02/30.12.2019.К/Т.35.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ  
ФАРҒОНА ПОЛИТЕХНИКА ИНСТИТУТИ**

**ТОЖИЕВ РУСТАМБЕК РАСУЛОВИЧ**

**КАРАУМБЕТ ВА БАРСАКЕЛЬМАС КЎЛИ ХОМ-АШЁ  
МАНБАЛАРИНИ БИШОФИТ, МАГНИЙ ГИДРООКСИД, ОКСИД  
ВА НАТРИЙ СУЛЬФАТГА КОМПЛЕКС ҚАЙТА ИШЛАШ  
ТЕХНОЛОГИЯСИНИ ЯРАТИШ**

**02.00.13 – Ноорганик моддалар ва улар асосидаги материаллар технологияси**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSC) ДИССЕРТАЦИЯСИ  
АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент - 2020 йил**

**Фан доктори (DSc) диссертацияси автореферати мундарижаси**  
**Оглавление автореферата диссертации доктора наук (DSc)**  
**Contents of the abstract of dissertation doctor of science**

**Тожиев Рустамбек Расулович**

Караумбет ва Барсакельмас кўли хом-ашё манбаларини бишофит, магний гидроксид, оксид ва натрий сульфатга комплекс қайта ишлаш технологиясини яратиш.....

**Тожиев Рустамбек Расулович**

Разработка технологии комплексной переработки сырьевых ресурсов озер Караумбет и Барсакельмес на бишофит, гидроксид и оксид магния и сульфат натрия.....

**Tojiev Rustambek Rasulovich**

Development to technologies of the complex processing raw materials resource lake Karaumbet and Barsakelmes on bischofite, hydroxide and oxide magnesiums and sulphate sodium.....

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works.....

**УМУМИЙ ВА НООРГАНИК КИМЁ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.02/30.12.2019.К/Т.35.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ  
ФАРҒОНА ПОЛИТЕХНИКА ИНСТИТУТИ**

**ТОЖИЕВ РУСТАМБЕК РАСУЛОВИЧ**

**КАРАУМБЕТ ВА БАРСАКЕЛЬМАС КЎЛИ ХОМ-АШЁ  
МАНБАЛАРИНИ БИШОФИТ, МАГНИЙ ГИДРООКСИД, ОКСИД  
ВА НАТРИЙ СУЛЬФАТГА КОМПЛЕКС ҚАЙТА ИШЛАШ  
ТЕХНОЛОГИЯСИНИ ЯРАТИШ**

**02.00.13 – Ноорганик моддалар ва улар асосидаги материаллар технологияси**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSC) ДИССЕРТАЦИЯСИ  
АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент - 2020 йил**

**Фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2019.3.DSc/K72 рақам билан рўйхатга олинган.**

Докторлик диссертацияси Тошкент кимё-технология институти ва Фарғона политехника институтида бажарилган.

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

**Илмий маслаҳатчи:**

**Мирзакулов Холтура Чориевич**  
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий опонентлар:**

**Номозов Шафоат Сагтарович**  
техника фанлари доктори, профессор, академик

**Реймов Ахмед Мамбеткаримович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Султонов Боходир Элбекович**  
техника фанлари доктори, доцент

**Етакчи ташкилот:**

**Наманган муҳандислик-технология институти**

Диссертация ҳимояси Умумий ва ноорганик кимё институти ҳузуридаги DSc.02/30.12.2019.K/T.35.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2020 йил «22» июл соат14<sup>00</sup> - даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100170, Тошкент шаҳри, Мирзо Улуғбек кўчаси, 77-а. Тел.: (+99 871) 262 -79-90, факс: (+99871) 262-79-90; e-mail: [ionxanruz@mail.ru](mailto:ionxanruz@mail.ru))

Диссертация билан Умумий ва ноорганик кимё институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин. (\_\_\_ рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100170, Тошкент шаҳри, Мирзо Улуғбек кўчаси, 77-а. Тел.: (+99 871) 262-56-60).

Диссертация автореферати 2020 йил «17» июль куни тарқатилди.  
(2020 йил «\_\_» июлдаги № \_\_\_\_\_ рақамли реестр баённомаси).



**Б.С. Закиров**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, к.ф.д., профессор

**Д.С. Салиханова**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш котиби, т.ф.д., профессор

**С.А. Абдурахимов**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, т.ф.д., профессор

## **КИРИШ (фан доктори (DSc) диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Дунёда индустриал ва рақобатбардош иқтисодиётни шакллантиришнинг янги сифат босқичига ўтишда ҳар қандай давлат иқтисодиётини ривожлантириш ва техник жиҳатдан юксалтириш учун импорт ўрнини босувчи ва экспортга йўналтирилган маҳсулотлар ишлаб чиқаришни ташкил этиш вазифаси қўйилган. Бугунги кунда мамлакатнинг ривожланиши нафақат табиий бойликлар, балки унинг илғор технологиялари мавжудлиги билан ҳам изоҳланади. Бу жиҳатдан маҳаллий ресурсларни рақобатбардош маҳсулотларга қайта ишлашнинг инновацион технологиясини яратиш муҳим аҳамиятга эгадир.

Жаҳон амалиётида табиий манбалар – шўр кўллар, денгиз суви ва тузли қатламлардан магний, натрий ва кальций тоза тузларини ишлаб чиқаришда хомашёдан тўлиқ фойдаланиш, шу орқали асосий маҳсулотларни арзонлаштиришни таъминловчи технологияларни ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Шу сабабли атроф муҳитни яхшилаш чораларида табиий ресурслардан рационал фойдаланиш тадбирлари қонуний асосланган. Бу борада қуйидаги йўналишларда илмий-техник ечимларни асослаш, жумладан: кўллар рапаси ва қуруқ аралаш тузларини (ҚАТ) қўшимчалардан чуқур тозалаш усулини ишлаб чиқиш; магний ва натрий бирикмалари тозаланган эритмаларини олиш; кўлларни тозаланган рапаси ва қуруқ аралаш тузларини, сода ишлаб чиқариш чиқиндиси – дистиллер суюқлигини (ДС) бишофит, натрий сульфати ва хлориди, магний гидроксиди ва оксиди, гипс ва бўрга қайта ишлашнинг комплекс технологиясини ишлаб чиқиш зарур.

Ҳозирги кунда республикада Орол бўйи худудининг сульфат-хлоридли қатламлари, мирабилит ва астраханит, ундан ташқари кальцинацияланган сода чиқиндиси – ДСни ош тузи, натрий карбонат, буркеит, аммоний ва калий сульфат, дефолиант ва шўр тупроқни маҳкамловчи, цемент қўшимчасига қайта ишлаш бўйича муайян илмий-амалий натижаларга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикасининг 2017-2021 йилларга мўлжалланган ҳаракатлар стратегиясининг учинчи йўналишида «...саноатнинг юқори технологияли қайта ишлаш тармоқларини, энг аввало, маҳаллий хом ашё ресурсларини чуқур қайта ишлаш асосида юқори қўшимча қийматли тайёр маҳсулот ишлаб чиқариш...»<sup>1</sup> каби муҳим вазифалар белгилаб берилган. Бу борада, жумладан Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапаси ва ҚАТни комплекс қайта ишлаш йўли билан бишофит, натрий сульфат, магний оксид, ош тузи, кимёвий чўктирилган гипс ва бўр олишнинг рационал технологиясини ишлаб чиқиш муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ 4947-сон «2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича Ҳаракатлар стратегияси» тўғрисидаги Фармони, 2018 йил 25 октябрдаги ПҚ-3983-сон «Ўзбекистон Республикасида

---

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг «2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича Ҳаракатлар стратегияси» тўғрисидаги Фармони

кимё саноатини жадал ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ва 2019 йил 3 апрелдаги ПҚ-4265 сон «Кимё саноатини янада ислоҳ қилиш ва унинг инвестициявий жозибadorлигини ошириш чора тадбирлари тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъерий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу тадқиқот иши муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг асосий устувор йўналишларига боғлиқлиги.** Мазкур тадқиқот Республика фан ва технологиялар ривожланишини VII. «Кимёвий технологиялари ва нанотехнологиялар» устувор йўналишига мувофиқ ҳолда бажарилган.

**Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи<sup>2</sup>.** Шўр кўллар намोकоби, денгиз суви ва табиий қатламларни ош тузи, бишофит, магний оксиди, натрий ва калий сульфатига қайта ишлашга йўналтирилган илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари, жумладан, US Magnesium LLC ва Mineral Research Development (АҚШ), Israel Chemicals Limited ICL ва Dead Sea Magnesium Ltd (Исроил), SDIC Xinjiang Luoboro Potash Co Ltd., Jinzhou Huacheng Magnezium Company ва Weifang Bell Chemical Co Ltd (Хитой), Rima Industrial (Бразилия), Magnohrom (Сербия), POSCO (Жанубий Корея), “Карабогазсульфат” ИБ (Туркменистон), Харьков политехника институти (Украина), Менделеев номидаги РКТУ ва Башқортостан Республикаси амалий тадқиқотлар институти (Россия), Тошкент кимё-технология институти ҳамда Умумий ва ноорганик кимё институти (Ўзбекистон)да олиб борилмоқда.

Дунёда кўллар аралаш рапаси, денгиз суви ва тузли қатламларни қатламларни қайта ишлашга оид жаҳонда олиб борилган тадқиқотлар натижасида қатор, жумладан, қуйидаги илмий натижалар олинган: Юта штати Катта шўр кўли рапаси ҳамда Ўлик денгиз шўр сувини қуёш ҳавза-буғлатгичи ва вакуум-буғлатгич ускуналарини қўллаш орқали буғлатиш йўли билан бишофит олишнинг илмий асослари яратилган (Great Salt Lake Minerals Corp., Kaiser Refractories ва US Magnesium LLC, АҚШ, Dead Sea Magnesium Ltd, Исроил); денгиз сувини қуйдирилган доломит ёки оҳак билан аралаштириш ёки Сиваш кўли аралаш рапаси ва Волгоград бишофитини аммонийлаштириш йўли билан магний гидроксиди ва оксиди олиш усули ишлаб чиқилган (South Bay Salt Works Chula Vista, АҚШ ва Jinzhou Huacheng Magnezium Company, Хитой, “Бром” ОАЖ, Украина, “Каустик” ИЧБ, Россия); шўр кўллар номокоби ва денгиз сувлари чуқур қайта ишлаш йўли билан бирламчи (металл) магний, титанли ғалвир ва пўлат ишлаб чиқарилган (Rima Industrial Бразилия; Magnohrom, Сербия; POSCO, Жанубий Корея; Chaoyang Jinda Titanium Co. Ltd, Хитой); Кора-Богаз-Гол кўрфази устки ва пастки намокобларидан мирабилит, эпсомит ва бишофит ишлаб чиқарилган

<sup>2</sup> Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи: <https://www.arpet.ru/material/>, <http://www.mineral.ru/News/1669.html>, <https://edrid.ru/rid/217.015.e556.html>, <http://library.sgau.ru>, <http://elibrary.ru>, <http://wikipedia.org/wiki/>, <http://www.academia.ru>, <http://www.chemistry.or.jp/en>, <http://sciencedirect.com> ва бошқа манбалар.

(“Карабогазсульфат” ИБ, Туркменистон); кальцинацияланган сода чиқиндисини кальций ва натрий хлориди, карбонат ангидриди ва кальций оксиди, цемент қўшимчаси, дефолиант ва тупроқ маҳкамлагичига қайта ишлаш усуллари ишлаб чиқилган (Стерлитамак “Сода”, “Лисичан сода” ОАЖ, Россия, Украина ва ТКТИ ва УНКИ, Ўзбекистон).

Дунёда кўллар аралаш тузлари, денгиз суви, сода чиқиндисидан натрий ва калий сульфати, натрий бикарбонати, натрий ва магний хлоридининг тоза тузларини олиш бўйича қатор, жумладан, куйидаги устувор йўналишларда тадқиқот олиб борилмоқда: кўллар рапаси ва аралаш тузларини ҳар томонлама физик-кимёвий хусусиятларини аниқлаш; уларни қўшимчалардан тозалаш усулини ишлаб чиқиш; тозаланган рапани бишофит ва магний гидроксидга қайта ишлаш; сульфат-хлоридли тузни натрий сульфат ва хлорид, магний оксидга комплекс қайта ишлаш технологиясини яратиш; сода ишлаб чиқариш чиқиндиси – ДСни мақсадли маҳсулотларга қайта ишлаш.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Илмий-техник адабиётларда сульфат-хлоридли номокоблар, шўр кўллар аралаш рапаси ва денгиз суви, минерал хомашёлар – доломит, брусит, серпентинитни натрий, магний ва калий бирикмаларига чуқур қайта ишлаш борасида катта ҳажмдаги маълумотлар мавжуд (Здановский А.Б., Шихеев Л.В., Каганович Ю.Я., Лужная Н.П., Дзенс-Литовский А.И., Соколов И.Д., Набиев М.Н., Осичкина Р.К., Тухтаев С., Умаров А.А., Мирзакулов Х.Ч., Эркаев А.У., Дадаходжаев А.Т., Бобокулова О.С., Кучаров Б.Х., Габдуллин А.Н., Нажарова Л.Н., Гаприндашвили В.Н., Григорьев А.Л., Chen Т.Т., Vaba А.А., Yildirim М.).

Я.Г.Вант-Гофф, Н.С.Курнаков, С.Ф.Жемчужный, А.Г.Бергманлар номокобдан бишофит, мирабилит, астраханит, карналлит, сильвинит, галит, арканит, глазерит, вантгоффит, кизерит синтези учун денгиз суви тахминий таркибига мос келувчи  $2\text{Na}^+$ ,  $2\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-} \ 2\text{Cl}^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  системасини биринчи ўрганувчилари ҳисобланади. Аммо ҳар битта табиий тузлар кони ўзига хос (таркиби ва хоссалари ўзгарувчан бўлганлиги сабаб), шунинг учун маълум технологияни Караумбет ва Барсакельмас кўллари шароитларига тўғридан-тўғри қўллаб бўлмайдди. У ёки бу коннинг ўзига хослигидан келиб чиққан ҳолда, уларни қайта ишлашнинг мақбул шароитларини танлаш учун алоҳида илмий ва технологик тадқиқотлар талаб этилади.

Бошқа вазифа – ДСни мақсадли маҳсулотлар олишда фойдаланиш ҳисобланади (Крашенников С.А., Шульгина Н.Л., Загидуллин Р.Н., Зозуля А.Ф., Наркевич И.П., Рамбергенов А.К., Искендеров А.М., Реймов К.Д.). Ҳозирги вақтда ушбу муаммо билан қатор илмий тадқиқот муассаса ва корхона лабораториялари шуғулланишмоқда. Масалан, А.М.Искендеров томонидан ДСни кўллаб паст навли ош тузини тозалаш ва цементга қўшимча олиш технологияси ишлаб чиқилган. К.Д.Реймов томонидан иккиламчи энергия фойдаланиб ДСни буғлатиш орқали натрий хлориди ва кальций хлориди суюқланмасини олиш усули ишлаб чиқилган. Биринчи маҳсулот сода ишлаб чиқаришига қайтарилади, иккинчиси тупроқ маҳкамловчиси сифатида ишлатилади. Х.Палвонов томонидан ДСни натрий хлоратда конверсиялаш йўли билан дефолиант олиш усули тавсия этилган.

Аммо Караумбет кўли мирабилити, рапаси ва ҚАТни жалб қилиш орқали ДСни кимёвий чўктирилган гипс ва тоза натрий хлориди номокобига қайта ишлаш бўйича маълумотлар йўқ. ДСни қайта ишлаш технологияси чиқинди ҳажмини қисқартириш, атроф муҳитнинг ифлосланиш даражаси ва асосий маҳсулот – кальцинацияланган сода таннархини камайтириш имконини беради.

**Илмий тадқиқот мавзусининг диссертация бажарилаётган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги.**

Диссертация тадқиқоти Тошкент кимё-технология институти илмий-тадқиқот ишлари режасининг А-6-274 «Қорақалпоғистон Республикаси Караумбет кўли рапасини комплекс қайта ишлаш» (2006-2008 йй.) ва ИД-2-003 «Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапаларидан натрий хлорид, натрий сульфат, магний хлорид ва магний оксид ишлаб чиқаришни тажриба-саноат миқёсида ўзлаштириш» (2009-2010 йй.) мавзуларидаги амалий ва инновацион лойиҳалар, ундан ташқари ЎзР Табиатни муҳофаза қилиш давлат қўмитаси ва “ILM-FAN TECHNOLOGIYALAR” илмий ишлаб чиқариш корхонаси ўртасида тузилган «“Қўнғирот сода заводи” чиқиндилари – дистиллер суюқлиги ва фильтр-прессдаги шламни гипс, галит, кальций ва натрий нитрат ва магний сульфатга утилизация қилиш технологиясини ишлаб чиқиш» (2010-2011 йй.) мавзусидаги 06/10-сонли хўжалик шартномаси доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** Қорақалпоғистон кўллари рапаси ва қуруқ аралаш тузлари ва дистиллер суюқликни комплекс қайта ишлаш йўли билан бишофит, натрий сульфат, магний гидроксид (оксид) ва натрий хлорид олишнинг илмий асослари ва технологиясини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

рапалар, ҚАТ ва ДСни кимёвий ва туз таркибларини ҳамда физик-кимёвий хоссаларини ўрганиш;

Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапасини ёзги буғлатиш ва қишқи чўктириш жараёнларини тадқиқ этиш;

Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапасини ДС, натрий карбонати ва барий хлориди ёрдамида тозалаш жараёнини тадқиқ қилиш;

Караумбет ва Барсакельмас кўллари тозаланган рапасини 2-босқичли буғлатиш усулида натрий хлорид ва бишофит кристалларини олиш жараёнини тадқиқ этиш;

Караумбет ва Барсакельмас кўллари тозаланган рапасидан магний гидроксид олишнинг мақбул шароитларини аниқлаш;

тозаланган ҚАТ эритмасини тайёрлаш ва сувсиз натрий сульфатни олиш жараёнининг мақбул параметрларини аниқлаш;

натрий ва магний хлоридли тозаланган ҚАТ эритмасидан магний оксиди олиш жараёнини тадқиқ қилиш;

ДСни кимёвий чўктирилган гипс ва натрий хлориднинг тозаланган номокобига қайта ишлаш жараёнини тадқиқ этиш;

Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапаси ва ҚАТ ҳамда “Қўнғирот сода заводи” УК чиқиндиси - ДСни комплекс қайта ишлаш асосида бишофит,

натрий сульфат, магний гидроксид ва оксид, кимёвий чўктирилган гипс ва бўр олиш технологиясининг техник-иқтисодий ҳисоблари ва тажриба синовларини ўтказиш; технологик тизимни ишлаб чиқиш, моддий балансни тузиш;

Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапаси ва ҚАТ базасида натрий, магний ва кальций бирикмалари ишлаб чиқаришни ташкил қилиш учун меъёрий-техник ҳужжатлар тайёрлаш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапаси ва ҚАТ, ДС, кальцинацияланган сода, кальций сульфат ва карбонат, бишофит, натрий хлорид, мирабилит, натрий сульфат, магний гидроксид ва оксиддан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг предмети** Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапасини ёзги буғлатиш ва қишқи чўктириш, рапа, ҚАТ ва ДСларини қўшимчаларидан тозалаш, бишофит, магний гидроксид (оксид) ва натрий сульфат олиш технологиясини ишлаб чиқиш ҳисобланади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Диссертация ишида кимёвий ва физик-кимёвий (рентгенографик, термогравиметрик, ИҚ-спектроскопик) таҳлил усуллари қўлланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

$2\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ // $2\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  -  $\text{H}_2\text{O}$  эрувчанлик системаси таҳлили асосида кўллар рапасини табиий (ёзги) шароитда концентрлаш ва қишқи чўктиришда натрийли тузлар кристаллашни олдиндан аниқланган;

Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапасини ДС, натрий карбонат ва барий хлорид ёрдамида қўшимчадан чуқур тозалаш ёрдамида кальций ва сульфатли ионларни йўқотиш орқали чуқур тозалаш мумкинлиги асосланган;

Тозаланган Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапасидан ҳар бир босқичда камида 98% тозаликдаги  $\text{NaCl}$  ва 99,5%  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  тутган бишофит кристалларини олишга имкон берувчи икки босқичли буғлатиш усули ишлаб чиқилган;

Караумбет ҚАТ эритмасидан мирабилитни кристаллаш ва мирабилитни юқори навга мос келадиган натрий сульфат олишда қиздиришнинг ҳарорат оралиғи аниқланган;

Караумбет ва Барсакельмас кўли тозаланган рапаси ва ҚАТни нейтраллаш йўли билан Давлат андозалари талабларига жавоб берадиган магний гидроксид ва оксид олиш жараёнининг мақбул шароитлари аниқланган;

ДСни қурилиш ва кальцинацияланган сода ишлаб чиқаришида қўлланиладиган гипс ва тоза натрий хлорид номокобига қайта ишлаш усули ишлаб чиқилган;

Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапаси ва ҚАТ, соданинг йирик тоннажли чиқиндиси – ДСни қайта ишлаш йўли билан бир вақтнинг ўзида натрий сульфат ва хлорид, кальций сульфат ва карбонат ажратиш орқали бишофит, магний гидроксид (оксид) олиш технологиялари ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

тоза натрий хлориди ва бишофит кристалларини олиш мақсадида Караумбет ва Борсакелмас кўллари рапаларини қўшимчалардан тозалаш ва уларни икки босқичли буғлатишнинг янги усули ишлаб чиқилган;

Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапасини қишлоқ хўжалигини импорт ўрнини босувчи маҳсулотлар билан таъминловчи бишофит ва магний гидроксидга қайта ишлаш технологияси яратилган;

Караумбет ҚАТ ва ДСни ювувчи воситалар, қишлоқ хўжалиги, қурилиш материали ва кальцинацияланган сода ишлаб чиқариш учун мўлжалланган юқори тозаликда натрий сульфат, магний оксид, кальций сульфат ва карбонат, натрий хлорид номокобига комплекс қайта ишлашга имкон берадиган мосланувчан технологик тизим ишлаб чиқилган;

Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапаси ва ҚАТни комплекс қайта ишлаш асосида қўшимча равишда гипс, бўр ва натрий хлорид олиш билан бирга асосий маҳсулотлар: бишофит, натрий сульфат, магний гидроксид (оксид) ишлаб чиқариш учун меъёрий-техник ҳужжатлар (вақтинчалик технологик регламент, лойиҳалашга дастлабки маълумотлар) тайёрланган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Кимёвий ва физик-кимёвий таҳлил натижаси тажриба-синов далолатномаларида тасдиқланган.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.**

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти шундан иборатки, улар Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапасини қайта ишлаш асосида бишофит ва магний гидроксид олиш; Караумбет ҚАТни комплекс қайта ишлашда бир вақтнинг ўзида гипс, бўр ва галит олиш орқали юқори навли натрий сульфат, магний оксид олиш; ДС – сода ишлаб чиқариши чиқиндисини кимёвий чўктирилган гипс ва натрий хлорид номокобига қайта ишлашга асос бўлган.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти шундан иборатки, Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапаси ва ҚАТни қайта ишлаш асосида хлоратмагнийли дефолиант ва ёпишқоқлиги бўлмаган аммиакли селитра ишлаб чиқаришларини бишофит ва брусит, ювувчи воситалар ишлаб чиқаришини эса юқори навли натрий сульфат билан таъминлаш имконини беради. ДСни гипс ва натрий хлоридга утилизация қилиш чиқинди ҳажмини камайтириш, регионда экологик вазиятни яхшилаш ва асосий маҳсулот – кальцинацияланган сода таннархини пасайтиришга хизмат қилади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапаси ва ҚАТ, ҳамда ДСни магний хлорид, натрий сульфат, магний гидроксид (оксид), кальций сульфат ва карбонатга қайта ишлаш технологиясини ишлаб чиқиш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

натрий сульфатни олиш усулига Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигидан ихтиро патенти олинган (04470, 2012й.). Натижада сульфат-хлорид типигаги маҳаллий тузли қатламларни турли хил ювувчи воситаларнинг таркибига кирувчи юқори навли натрий сульфатга қайта ишлаш имконини берган;

Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапаси, ҚАТни магний, натрий ва кальцийга комплекс қайта ишлаш технологияси «Farg'onaazot» АЖнинг

истиқболли ишланмалар рўйхатига киритилган («Uzkimyosanoat» АЖнинг 22 май 2020 йилдаги 14-2353 - рақамли маълумотномаси). Натижада халқ хўжалиги муҳим маҳсулотлари – магний хлорид ва оксид, натрий сульфат ва хлорид, кальций карбонат олиш имкони берган;

ДСни мирабилит ёрдамида кальций сульфат ва натрий хлоридга қайта ишлаш технологияси «Farg'onaazot» АЖнинг истиқболли ишланмалар рўйхатига киритилган («Uzkimyosanoat» АЖнинг 22 май 2020 йилдаги №14-2353 - рақамли маълумотномаси). Натижада йирик тоннали чиқиндини фойдаланиш ва атроф-муҳитни яхшилаш имкони берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари, жумладан 5 та халқаро ва 6 та республика илмий-амалий анжуманларда маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича жами 22 та илмий иш чоп этилган, шулардан 1 таси монография, 2 та ихтирога Ўзбекистон Республикаси патенти, Ўзбекистон Республикаси Олий Аттестацияси комиссиясининг докторлик диссертациялари натижаларини чоп этишга тавсия этилган илмий нашрларда 8 та мақола, жумладан, 6 таси республика ва 2 таси хорижий журналларда нашр этилган.

**Диссертация тузилиши ва ҳажми.** Диссертация таркиби кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 200 бетни ташкил этган.

## **ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

**Кириш** қисмида ишнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари шакллантирилган, тадқиқотнинг объект ва предметлари тавсифланган, тадқиқотнинг республика фан ва технологиялар тараққиёти устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги баён қилинган ва натижаларнинг амалиётга жорий этилиши берилган, чоп этилган илмий ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Биринчи бобда **«Магний ва натрий бирикмалари: эҳтиёж, қўлланилиши ва уларни олиш усуллари»** шарҳи келтирилган бўлиб, унда бишофит, магний гидроксид ва оксид, натрий сульфат ишлаб чиқариш ҳолати ва уларнинг фойдаланиш соҳалари, ундан ташқари хомашё материаллари таснифи берилган. Магний хлорид ва гидроксид (оксид) ва натрий сульфат олиш усуллари кўрилган, ундан ташқари денгиз типига сульфат-хлоридли номокоблардан натрий, магний ва калий хлорид ва сульфатлар олишни асословчи системалар ўрганилганлиги таҳлил қилинган. Сода ишлаб чиқариш чиқиндиларидан фойдаланиш бўйича илмий ишлар шарҳланган. Шўр қўллар номокоби, денгиз суви ва тузли қатламларни қайта ишлаш бўйича тадқиқотлар комплексини тўла кўриб чиққан ҳолда ишнинг мақсад ва вазифалари шакллантирилган.

Иккинчи боб «Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапасини табиий концентрлаш ва хамроҳ кўшимчалардан тозалаш» Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапасини ёзги буғлатиш ва қишқи чўктириш, ундан ташқари уларни тозалаш жараёнлари тадқиқотларига тааллуқлидир.

Караумбет конида иккита турдаги хомашё: рапа ва ҚАТ мавжуддир. Рапанинг В+С<sub>1</sub> категориялари бўйича ўзлаштириш учун яроқли ҳисобланган захираси 1506,3 минг т ни ташкил этади, улардан 504,07 минг т галитли туз ва 1002,2 минг т магний хлорид ва сульфат аралашмасига тўғри келади. ҚАТ захираси 4009 минг т ни ташкил этади, улардан 754 минг т NaCl, 2452 минг т Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 613 минг т MgCl<sub>2</sub> ва 4,74% қолган компонентларга тўғри келади. Уларда MgCl<sub>2</sub> умумий захираси 700 минг т ёки 295 минг т MgO этиб баҳоланган. Рапа ўртача (оғир. %): MgSO<sub>4</sub> – 5,46; MgCl<sub>2</sub> – 5,45; NaCl – 18,36; H<sub>2</sub>O – 60 яқин, ҚАТ эса: NaCl – 18,8; Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 61; MgCl<sub>2</sub> – 15,28 тутган. ҚАТ ни кўлнинг кўп йиллик сув буғланиши натижасида қуригандан ҳосил бўлган маҳсулот сифатида қараш мумкин.

Барсакельмас кони қаттиқ тузларининг А+В+С<sub>1</sub> категориялари бўйича тасдиқланган миқдори 131 053 минг т (96,32% NaCl), улардан 121 202 минг т сода ва ош тузи ишлаб чиқариши, 9851 минг т эса озуқа мақсадлари учун яроқлидир. Рапа асосан натрий ва магний хлорид ва сульфатлардан ташкил топган, уларнинг ўртача таркиби: NaCl – 25%, MgCl<sub>2</sub> – 2,3%, MgSO<sub>4</sub> – 2,42% ва 70% H<sub>2</sub>O. Магний тузларининг умумий захираси 2470 минг т MgCl<sub>2</sub> ёки 1040 минг т MgO ҳажмда баҳоланган. Улар Барсакельмас рапада Караумбет рападан 2-3 баробар камдир. Демак, NaCl миқдори юқори, бу Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> // SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, Cl<sup>-</sup> – H<sub>2</sub>O системаси бўйича маълумотлар базасига мувофиқ келади.

Рапа ва ҚАТда кальций ва уч валентли металллар мутлақо йўқ. Кимёвий-минералогик ва физик таснифлар бўйича рапа (рН = 6-7; ρ = 1,15-1,35 г/см<sup>3</sup>, η = 2-5 сПз, t<sub>кайнаш</sub> = 102-106°С) бишофит ва магний оксид, ҚАТ эса улардан ташқари натрий сульфат олиш учун яроқли ҳисобланади.

Ҳар хил ҳароратларда Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> // Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> - H<sub>2</sub>O маълум бўлган эрувчанлик системаси таҳлили асосида денгиз типдаги Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапасини табиий (ёзги) шароитларда буғланиши шароитида концентрлашни олдиндан белгилаш мумкин. Система маълумотларидан келиб чиқадики, агарда қишқи вақтда рапа танлаб олинса, унда NaCl·2H<sub>2</sub>O и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·10H<sub>2</sub>O чўкиши натижасида у кўп MgCl<sub>2</sub> тутади. Системани кўриб чиққан ҳолда, номокоблардан сув буғланиш жараёнининг ҳаракатланувчи кучи олдиндан аниқланади.

Ёзги буғлатиш (80 сутка давомида) бўйича тажрибалар Караумбет кўли яқинидаги очиқ майдонда ўтказилди, бунда қуёшли ҳавзалар – металллик сифимлар кўлланилди, унга 0,424 ва 0,546 м<sup>3</sup> ҳажмда мос равишда Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапаси қуйилди. Бу даврда Караумбет рапаси баландлиги ва ҳажми 21,3 см ва 0,2902 м<sup>3</sup> га камайди, MgCl<sub>2</sub> концентрацияси эса 6,88 дан 17,41% гача ортди. Бу вақтда Барсакельмас рапаси ҳажми 0,5646 дан 0,2561 м<sup>3</sup> гача камайди, рапа қалинлиги 40,33 дан 18,29 см гача пасайди, MgCl<sub>2</sub> концентрацияси эса 3,80 дан 17,33% гача ортди, натижада чўкмага 24,98% NaCl ажралиб чиқди.

Юқорида келтирилган система таҳлили шундан далолат берадики, қишқи чўкиш шароитида, яъни паст ҳароратларда рападан  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  максимал чўкади. Караумбет кўли рапасидан  $\text{NaCl}$  ёзги чўкишидан кейинги  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  тушишига ҳарорат таъсири ўрганилди. Масалан, ҳароратнинг  $30^\circ\text{C}$  дан  $-10^\circ\text{C}$  гача пасайиши билан  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  миқдори 7,26 дан 0,54% гача,  $\text{NaCl}$  3,98 дан 1,61% гача камаяди,  $\text{MgCl}_2$  эса 19,69 дан 23,31% гача ортади. Чўкма  $\text{NaCl}$  ва  $\text{MgSO}_4$  аралашмали  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  дан иборат бўлади. Барсакельмас рапасини  $-5 \div -10^\circ\text{C}$  гача совитишда  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  миқдори 0,13-0,53% гача камаяди,  $\text{NaCl}$  ва  $\text{MgCl}_2$  миқдори 26,20-26,43% ва 4,01-4,05% гача, қаттиқ фазага  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ажралиш чикими 81,14-95,37% гача ортади.

Шундай қилиб,  $\text{NaCl}$  ни ёзги чўктириш ва  $10^\circ\text{C}$  дан  $-5^\circ\text{C}$  гача ҳарорат оралиғида қишқи чўктириш йўли билан бишофит олиш учун яроқли бўлган 22-23%  $\text{MgCl}_2$ , 2-3%  $\text{NaCl}$  ва 0,54-4,21%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  таркибли эритмалар олиш мумкин. Барсакельмас кўли рапасини табиий буғлатишдан сўнг 14-17%  $\text{MgCl}_2$ , 7-9%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ва 6-7% гача  $\text{NaCl}$  тутган эритмалар олинади. Чўкмага тушган  $\text{NaCl}$  ва  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  кристаллари тоза тузлар ишлаб чиқаришида ишлатилади.

Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапасини мос равишда 24-1,55 ва 1,245-1,288  $\text{г/см}^3$  зичликгача мажбурий буғлатиш, кейинчалик  $40^\circ\text{C}$  гача совитиш жараёни тадқиқ этилди. Кўрсатдики, Караумбет рапасини 1,240  $\text{г/см}^3$  дан 1,550  $\text{г/см}^3$  зичликгача концентранганда суюқ фазада магний хлорид миқдори 7,20 дан 28,24% гача ортади (1-жадвал).

#### 1-жадвал

#### Буғлатиш даражасига боғлиқ равишда ва кейинчалик $40^\circ\text{C}$ да совитишда Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапаси таркиби

Зичлик, $\text{г/см}^3$	Суюқ фаза таркиби, оғир. %					$\text{Na}^+ : \text{Mg}^+$
	$\text{Na}^+$	$\text{Mg}^{+2}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{-2}$	$\text{MgCl}_2$	
Караумбет кўли рапаси						
1,240	8,05	3,27	17,72	6,66	7,20	2,45
1,295	5,08	3,78	18,45	6,98	15,08	1,37
1,340	4,22	4,39	19,17	6,78	18,97	0,96
1,360	4,39	4,23	20,56	6,67	19,78	1,04
1,400	3,01	4,40	21,43	6,17	22,51	0,68
1,450	1,85	6,42	21,17	5,95	24,51	0,29
1,510	0,93	7,03	20,25	5,31	27,57	0,13
1,550	0,91	7,20	20,13	5,63	28,24	0,13
Барсакельмас кўли рапаси						
1,245	8,90	2,77	16,9	4,21	10,9	3,21
1,246	6,40	2,97	12,9	4,66	11,6	2,16
1,276	6,20	2,97	15,9	4,68	11,6	2,09
1,290	5,01	3,72	13,9	6,01	14,6	1,35
1,295	4,44	4,46	15,8	7,58	17,5	1,00
1,288	3,38	4,29	15,7	7,69	16,8	0,79

Натрий ионлари миқдори эса 8,05 дан 0,91% гача,  $\text{SO}_4^{-2}$  6,66 дан 5,63% гача,  $\text{Na}:\text{Mg}$  нисбати 2,45 дан 0,13 гача камаяди.

Барсакельмас рапасини 1,245 дан 1,295 г/см<sup>3</sup> гача буғлатишда магний хлорид миқдори 10,9 дан 16,8% гача, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> - 4,21 дан 7,69% гача, натрий ионлари эса аксинча 8,90 дан 3,38% гача ва Na : Mg 3,21 дан 0,79 гача камаяди, бунда NaCl кристаллари қаттиқ фазага чўкади.

Таъкидлаш лозимки, ҳароратнинг 20°С гача пасайиши NaCl чўкиш даражасига таъсир кўрсатмайди. Ҳар қандай ҳолатда ҳам қаттиқ фазада Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ва CaSO<sub>4</sub> кўринишидаги сульфат ионлари пайдо бўлади. Рапа концентрланиши давомида сульфат ионлари миқдори 0,36% (1,360 г/см<sup>3</sup>) дан 3,54% (1,550 г/см<sup>3</sup>) гача ортади.

Технологик нуқтаи назардан, натрий хлоридни тоза ҳолатда ажратиб олиш афзал ҳисобланади. Ундан келиб чиққан ҳолда, рапани буғлатиш жараёни кетма-кет тартибдаги 2 поғонада олиб борилди. 1-чи босқичда 1,245 г/см<sup>3</sup> дан 1,36 г /см<sup>3</sup> гача, 2-чи босқичда NaCl чўкмаси ажратиб олингандан сўнг 1,36 г/см<sup>3</sup> гача буғлатилди. Буғлатиш биринчи босқичидан кейин рапа суюқ фазасида MgCl<sub>2</sub> концентрацияси 14-15%, иккинчида эса 19-19,5% ташкил этди. Иккала босқичда фақатгина 98% дан кам бўлмаган NaCl чўкади.

Рапа таркибида сульфатли ионлар борлиги, уни тўғридан-тўғри бишофитга қайта ишлашга тўсқинлик қилади. Шу сабабли кейинги босқичнинг вазифаси ёзги чўкишгача (6,28% MgCl<sub>2</sub>, 20,37% NaCl, 8,33% MgSO<sub>4</sub>) ва чўкишдан кейинги Караумбет (17,41% MgCl<sub>2</sub>, 21,37% NaCl, 5,41% MgSO<sub>4</sub>) ҳамда Барсакельмас (4,13% MgCl<sub>2</sub>, 23,05% NaCl, 2,54% MgSO<sub>4</sub>) кўллари рапасини таркибида 8,41% CaCl<sub>2</sub> ва 5,54% NaCl бўлган ДС ёрдамида сульфатсизлантириш жараёнини ўтказиш талаб этилди. Жараён ДС меъёри (75 дан 110% гача SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> ни CaSO<sub>4</sub> гача боғлаш учун), аралаштириш давомийлиги (5 дан 180 дақиқагача) ва ҳароратга (20 дан 60°С гача) боғлиқ равишда ўрганилди. Аралаштиргичнинг айланиш тезлиги – 250 айл./дақ. Аниқландики, 5-20 дақиқа оралиқда рапа сульфатсизланиши жадал кетади, кейин кескин пасаяди. Масалан, ДС меъёри – 100% ва 20°С ҳароратда 5 дақиқадан сўнг Караумбет рапаси (чўктиришдан кейинги) сульфатсизланиш даражаси 58,37%, 20 дақиқада 88,59%, 30 дақиқада 89,8%, 60 дақиқада 90,33% ни ташкил этади, 180 дақиқадан сўнг эса атиги 0,48% га ошади. Ҳарорат кўтарилиши сульфатсизланиш даражаси камайишига олиб келади. Масалан, 20, 40 ва 60°С ҳароратларда рапанинг сульфатсизланиш даражаси 5 дақиқадан сўнг мос равишда 58,37; 54,93 ва 50,88%, 30 дақиқадан сўнг 89,80; 84,50 ва 78,27% ва 60 дақиқадан сўнг 90,33; 85,40 ва 79,21% ни ташкил этади. Бу CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O нинг сувдаги қисман эрувчанлиги билан боғлиқдир (20; 40 ва 60°С да 0,206; 0,214; 0,23 г/100г H<sub>2</sub>O). ДСнинг 100% дан ошиқ меъёрида, гарчанд сульфатсизланиш даражаси ошганда, рапанинг кальций ионларидан тозаланиш зарурати келиб чиқади. Сульфатсизлантириш шароитлари аниқланди: ДС меъёри – 100-105%, вақт – 20-30 дақиқа ва ҳарорат – 20-30°С, бунда рапанинг 90-92 %-ли сульфатсизланиши таъминланади (2-жадвал).

Рапа турига боғлиқ мақбул шароитда сульфатсизланган эритмада SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> миқдори 0,189-0,30% оралиқда ўзгаради. Гипсли суспензия енгил филтрланади, гипс филтрланиш тезлиги куруқ чўкмада 600-800 кг/м<sup>2</sup>·соат. Барсакельмас кўли рапасида шунга ўхшаш натижалар кузатилди.

**Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапасининг сульфатсизланиш даражаси ва суюк фаза таркибининг дистиллер суюқлиги меъёрига боғлиқлиги**

ДС меъёри, %	Ионли таркиб, оғир. %					Тузли таркиб, оғир. %				$\gamma_{SO_4^{2-}}$ , % нисб.
	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	MgCl <sub>2</sub>	NaCl	CaCl <sub>2</sub>	MgSO <sub>4</sub>	
<b>Караумбет кўли рапаси</b>										
75	5,80	1,99	0,15	14,36	1,37	6,51	14,75	0,40	1,71	67,10
90	5,65	1,80	0,13	14,21	1,24	6,69	14,20	0,36	1,22	80,00
100	5,43	1,77	0,12	13,86	0,29	6,72	13,82	0,34	0,36	92,30
105	5,36	1,73	0,15	13,75	0,18	6,66	13,63	0,43	0,23	95,00
110	5,29	1,69	0,21	13,64	0,14	6,54	13,44	0,58	0,18	96,00
<b>Ёзги чўкишдан кейинги Караумбет кўли рапаси</b>										
75	6,15	4,18	0,30	23,82	1,46	14,94	15,64	0,84	1,83	51,06
90	5,85	3,97	0,21	23,53	0,76	14,35	14,88	0,58	1,53	61,27
100	5,66	3,84	0,13	23,35	0,30	14,75	14,40	0,35	0,37	89,28
105	5,56	3,78	0,15	23,26	0,22	14,60	14,14	0,42	0,28	91,84
110	5,48	3,72	0,19	23,18	0,20	14,39	13,94	0,54	0,24	92,69
<b>Барсакельмас кўли рапаси</b>										
75	7,55	1,37	0,26	19,68	1,25	4,13	19,20	0,73	1,56	50,03
90	7,31	1,32	0,06	20,11	0,41	4,77	18,59	0,18	0,51	83,14
100	7,15	1,29	0,10	20,37	0,24	4,82	18,19	0,28	0,30	89,80
105	7,08	1,28	0,13	20,50	0,19	4,83	18,01	0,36	0,24	91,60
110	7,00	1,27	0,17	20,63	0,17	4,81	17,80	0,46	0,21	92,50
125	6,79	1,23	0,28	20,99	0,13	4,68	17,29	0,78	0,17	93,84
150	6,47	1,17	0,46	21,55	0,09	4,51	16,46	1,27	0,11	95,56

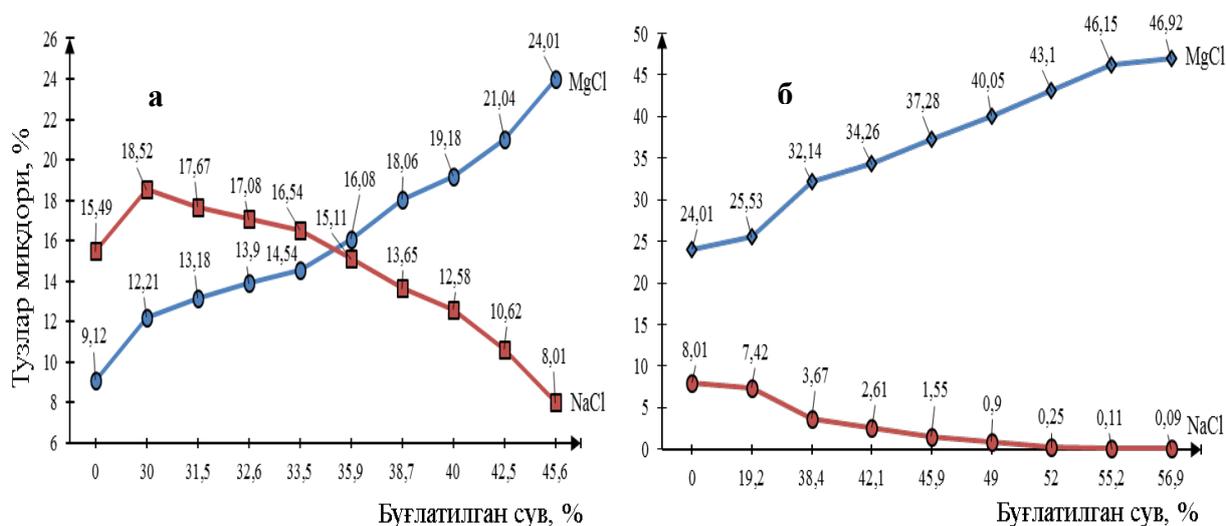
Бишофит ва NaCl таркибини турли даражада ифлослайдиган кальций ва сульфат қолдиқ ионларидан кўллар рапасини чуқур тозалаш мақсадида охирги ишлов беришни Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ва BaCl<sub>2</sub> ёрдамида амалга оширилди. Кальций ионларини йўқотишда қўланиладиган Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> миқдори стехиометриядан 75-125% меъёр, 1000 кг рапага нисбатан 7,52-12,53 кг оралиғида ўзгартирилди. Бунда жараён ҳарорати – 25°С ва таъсирлаштириш давомийлиги – 15-20 дақиқани ташкил этади.

Қолдиқ сульфатлардан тозалаш барий хлориднинг 100 %-ли меъёрида ўтказилди, бунда сульфатсизланиш даражаси 99,5% га етади, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> миқдори эса 0,001% дан ошмайди. Шундай қилиб, сульфат ва кальций ионларидан тозаланган эритмалар бишофит олиш учун яроқлидир, уни олиш жараёни диссертациянинг келгуси бобида кўриб чиқилади.

Учинчи боб «**Караумбет ва Барсакельмас кўли тозаланган рапаларини магний хлоридига қайта ишлаш**» бишофит олиш технологиясини ишлаб чиқишга бағишланган. Бунда таркиби 9,12% MgCl<sub>2</sub> ва 15,49% NaCl бўлган тоза рапани буғлатиш 2 поғонада 100°С ва 40 мм сим.уст. босимда NaCl чўкмасини оралиқ ажратиш орқали амалга оширилди.

Кўрсатдики, буғлатилган сув миқдори 30 дан 45,6% гача (100 кг рападан 30 дан 45,6 кг гача Н<sub>2</sub>О) ортиши билан номокобда магний хлорид

концентрацияси 9,12 дан 24,01% гача ошади, натрий хлорид эса чўкмага тушиши натижасида 15,49 дан 8,01% гача камаяди (1-расм, а).



**1-расм. Буғлатишнинг биринчи (а) ва иккинчи (б) босқичидан сўнг рападаги NaCl ва MgCl<sub>2</sub> концентрациясини буғлатилган сув миқдорига боғлиқлиги.**

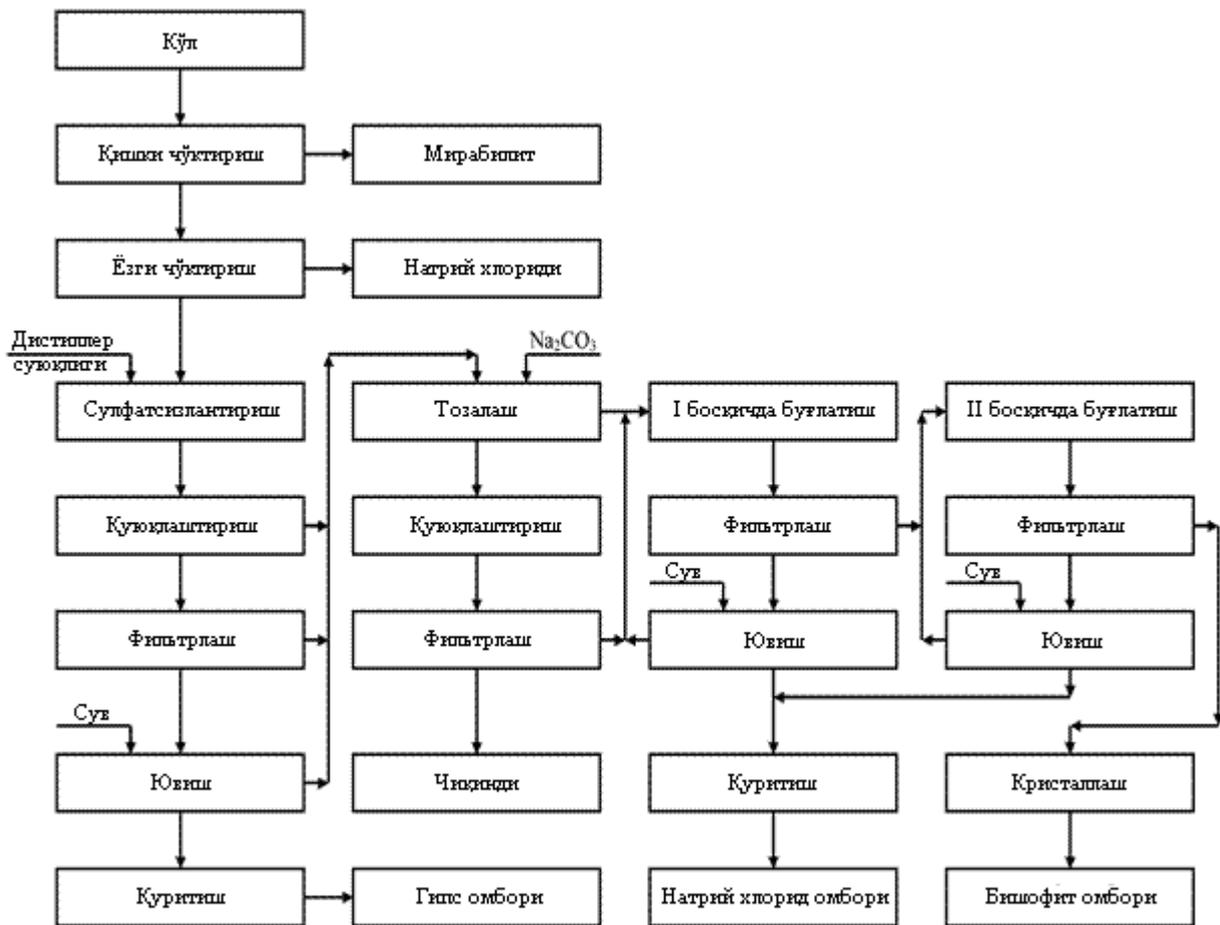
Натрий хлорид кристалланиши NaCl ва MgCl<sub>2</sub> эрувчанлиги фарқи билан боғлиқдир (100г сувда NaCl эрувчанлиги 20°С да – 35,87г, 80°С – 38,12г, MgCl<sub>2</sub> эрувчанлиги 20°С – 54,5г, 100°С – 73,0г). Бунда номокобдаги С:Қ нисбати 35,6 дан 3,9 гача камаяди, зичлик эса 1,250 дан 1,422 кг/см<sup>3</sup> гача ортади. Номокобни Ж:Т = 3,7 дан кичик ва 1,45 г/см<sup>3</sup> дан ошиқ буғлатилиши, унинг буғлатиш ускунасидаги циркулясини ва ташилишини, ундан ташқари NaCl чўкмасини ажратишни сезиларли қийинлаштиради.

Шу сабабли буғлатиш биринчи босқичидан сўнг тўйинган рападан вакуум-фильтр ёрдамида NaCl кристаллари ажратиб олинди, ундан кейин суюқ фазани 2-чи босқичда концентрлаш – буғлатишга йўналтирилди. Натижалар кўрсатдики, С : Қ = 4 : 1 ва NaCl чўкмаси қалинлиги 10,6 мм бўлганда, унинг филтрланиш тезлиги нам чўкма бўйича 4990 кг/м<sup>2</sup>·соатни ташкил этади. 2-чи босқичда 100 кг рапага нисбатан 19,2 дан 55 кг гача ёки 19,2 дан 55% Н<sub>2</sub>О гача буғлатилди (1-расм, б). Бунда суюқ фазанинг қаттиқ фазага нисбати 29,0 дан 4,9 гача камаяди, MgCl<sub>2</sub> концентрацияси эса 24,01 дан 46,92% гача ортади ва NaCl миқдори 8,01 дан 0,11% гача камаяди. CaCl<sub>2</sub> ва MgSO<sub>4</sub> миқдорлари минимумгача пасаяди (мос равишда 0,32 ва 0,11% дан 0,03 ва 0,04% гача). Чўккан натрий хлориднинг филтрланиши қуруқ чўкма бўйича 3811 кг/м<sup>2</sup>·соат ташкил этади. Концентрлашнинг 1-чи ва 2-чи босқичларида олинган кристаллар ўзининг таркиб ва сифати бўйича «Олий» маркага мос келади ва ГОСТ 51574-2000 «Озуқавий ош тузи. Техник шароитлар» меъёрларига жавоб беради, бу ерда NaCl миқдори 98,4% дан кам бўлмаслиги, кальций, магний, сульфат, эримайдиган қолдиқ ва сув масса улуши мос равишда 0,35; 0,05; 1,20; 0,10; 0,16 ва 0,70% дан кўп бўлмаслиги лозим.

Кейинчалик магний хлориди суюқланмасини совитиш йўли билан 0,09%

NaCl, 0,03% CaCl<sub>2</sub>, 0,03% MgSO<sub>4</sub>, 46,9% MgCl<sub>2</sub> тутган кристаллар олинди, у эса 99,6% бишофитга (MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O) мос келади. Модданинг индивидуаллиги рентгенографик ва ИК-спектроскопик усуллар билан тасдиқланди. Шундай қилиб, маҳсулот қўшимча компонентлар миқдори бўйича ГОСТ 7759-73 «Магний хлориди (Бишофит). Техник шароитлар» талабларига жавоб беради.

Лаборатория тажрибалари асосида Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапасини ДС ва натрий карбонати билан тозалаш, кейинчалик тозаланган рапани икки босқичли буғлатиш йўли билан товар маркадаги бишофит ва натрий хлорид олиш жараёнининг технологик тизими ишлаб чиқилди ва моддий баланси ҳисобланди. 2-расмда Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапасини комплекс қайта ишлашнинг блок-тизими келтирилган.



2-расм. Караумбет ва Барсакельмас рапасини қайта ишлаш блок-тизими.

Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапасини бир вақтнинг ўзида ош тузи, кимёвий чўктирилган гипс ва бўр олиш орқали бишофитга қайта ишлашнинг ишлаб чиқилган технологияси «Farg'onaazot» АЖнинг ишлаб чиқариш шароитларига мослаштирилган модел ускунада синовдан ўтказилди. Бунда маҳсулотларнинг тажриба партияси ишлаб чиқарилди.

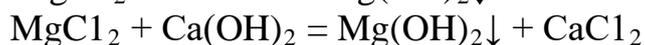
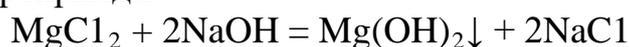
Техник-иқтисодий ҳисоблар кўрсатдики, 1 т бишофит таннари 1 106 663 сўм, четдан келтириладиган бишофит эса 450 АҚШ доллар ташкил этади. 15 минг т маҳсулот ишлаб чиқариш ташкиллаштирилганда иқтисодий

самарадорлик 5,53 млрд. сўмни ташкил этади. Бунда кўшимча равишда 23 минг т NaCl, 3,3 минг т CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O ва 0,55 минг т CaCO<sub>3</sub> олинади.

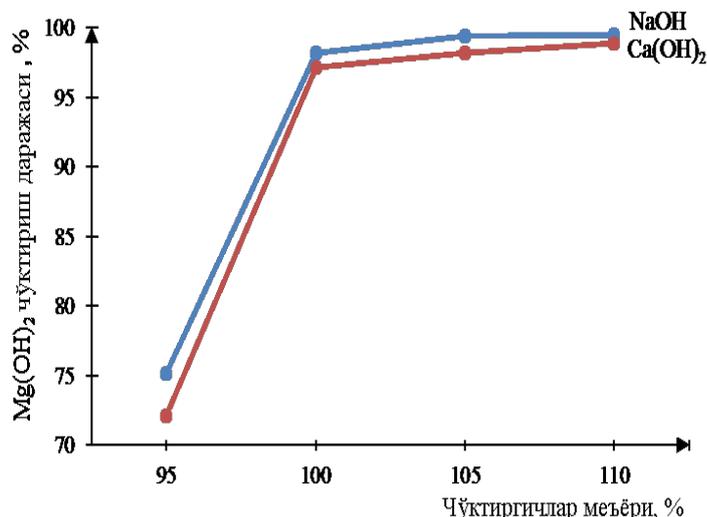
Диссертациянинг «**Қараумбет ва Барсакельмас рапаси ва курук аралаш тузларини натрий сульфат, гидроксид ва оксид магнийга қайта ишлаш**» тўртинчи боби Қараумбет ва Борсакелмас кўллари тозаланган рапасини магний гидроксид олиш технологиясини, ундан ташқари Қараумбет ҚАТни комплекс қайта ишлаш асосида натрий сульфати ва магний оксиди олиш технологиясини ишлаб чиқишга бағишланган.

Ишнинг дастлабки босқичида тозаланган рапани натрий ва кальций гидроксидлар билан нейтраллаш йўли билан магний гидроксиди олиш жараёни ўрганилди. Қараумбет ва Барсакельмас рапаси тоза эритмасининг кимёвий таркиби қуйидаги таркибда (оғир.%): Na<sup>+</sup> - 7,09; Mg<sup>2+</sup> - 2,29; Ca<sup>2+</sup> - 0,12; Cl<sup>-</sup> - 10,93; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> - 0,06 ва Na<sup>+</sup> - 9,61; Mg<sup>2+</sup> - 1,37; Ca<sup>2+</sup> - 0,13; Cl<sup>-</sup> - 18,84; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> - 0,070. Улар мос равишда 8,98% MgCl<sub>2</sub>, 18,02% NaCl, 0,009% CaSO<sub>4</sub>, 0,35% CaCl<sub>2</sub> ва 5,37% MgCl<sub>2</sub>, 24,45% NaCl, 0,01% CaSO<sub>4</sub>, 0,36% CaCl<sub>2</sub>.

Кальций ва натрий гидроксидлари меъёри қуйидаги келтирилган тенгламалар бўйича магний гидроксид ҳосил бўлишига стехиометриядан 95 дан 110% гача ўзгартирилди:



Компонентларнинг ўзаро таъсирлашиш жараёни 250 айл./дақ. аралаштириш тезлиги билан 25°С да 10 дақиқа давомида ўтказилди. Реакциядан кейин магний ионларини тиндириш давомийлиги – 120 дақиқани ташкил этади. 3-расмда NaOH ва Ca(OH)<sub>2</sub> меъёрига боғлиқ равишда



3-расм. Магний чўкиш даражасига натрий ва кальций гидроксиди меъёрининг таъсири.

Mg(OH)<sub>2</sub> чўкиш даражаси берилган.

Ундан кўринмоқдаки, чўктиригич меъёри қанча кўп бўлса, Mg(OH)<sub>2</sub> чўкиш даражаси шунча юқори бўлади. Мақбул меъёр 105% ҳисобланади, бунда магний гидроксиди чўкиш даражаси NaOH учун 99,41% ва Ca(OH)<sub>2</sub> учун 98,15% ташкил этади. Mg(OH)<sub>2</sub> олишда натрий гидроксиди анча самаралидир. Ундан ташқари эритмада кўшимча натрий иони кўпаяди, бу эса

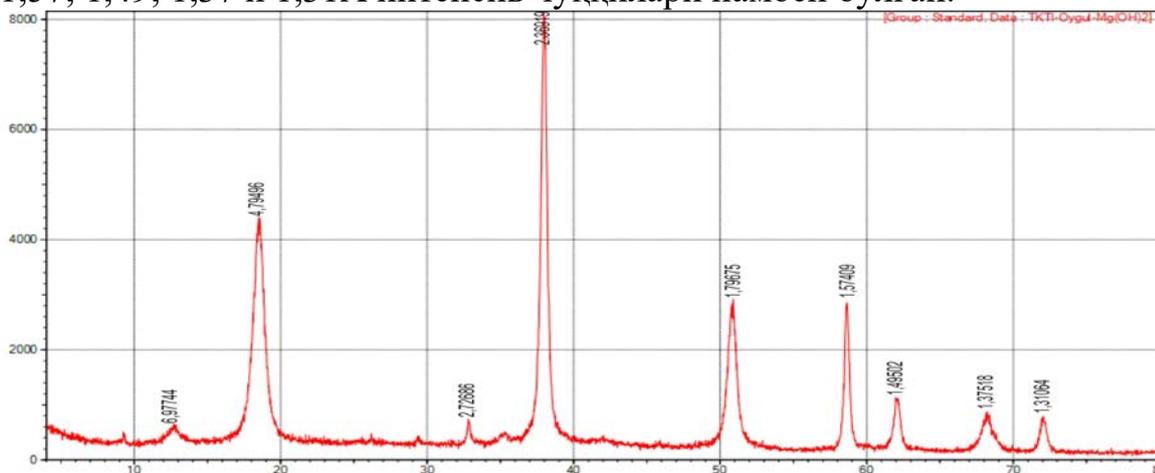
кальцинацияланган сода ишлаб чиқаришдаги хомашё сифатида муҳимдир.

Бўтқа хароратига боғлиқ равишда магний гидроксид чўкмасини филтрлаш жараёни ўрганилди. Харорат қанча баланд бўлса, бўтқа шунча яхши филтрланади. Агарда 25°С да курук чўкма бўйича бўтқанинг филтрланиш тезлиги 725 кг/м<sup>2</sup>·соат ни ташкил этса, у вақтда 60°С да бу

кўрсаткич 222 кг/м<sup>2</sup>·соат гача ортади. Келиб чиқадики, бўтқани суёқ ва қаттиқ фазаларга самарали ажратиш учун нисбатан юқори ҳарорат талаб этилади. Mg(OH)<sub>2</sub> чўкмасини ажратгандан сўнг суёқ фаза таркибида NaCl тоза номокоби – сода ишлаб чиқаришнинг дастлабки тоза хомашёси қолади.

NaOH мақбул меъёрида олинган нам чўкма таркиби 31,31% Mg<sup>2+</sup>; 3,52% Cl; 0,04% SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 19,98% H<sub>2</sub>O бўлади. Уни 100°C да доимий оғирликкача қуритилди. Магний гидроксид кимёвий таркиби “СТП ТУ КОМП 1-276-10” талаблари бўйича Б маркага мос келади (94% дан кам бўлмаган Mg(OH)<sub>2</sub>).

Унинг тузли таркибини аниқлаш учун рентгенографик тадқиқот ўтказилди. Рентгенографик таҳлил XRD-6100 дифрактометрида (Shimadzu, Японияда ишлаб чиқарилган.) ўтказилди. Минерал фазаларни таққослаш 2013 International Centre for Diffraction Data базасини қўллаш орқали амалга оширилди. Бунда CuK<sub>α</sub>-нурланиш (β-фильтр, Ni, ток режими ва трубка кучланиши 30 mA ва 30 kV) ва детекторнинг доимий айланиш тезлиги 4°/дақ. қўлланилди. Рентгенограмма расшифровкаси «The American Mineralogist crystal structure database» маълумотлар базасидан фойдаланган ҳолда ўтказилди. Рентгенограммада Mg(OH)<sub>2</sub> га хос бўлган 4,79; 2,72; 2,36; 1,9; 1,57; 1,49; 1,37 и 1,31Å интенсив чўққилари намоён бўлган.

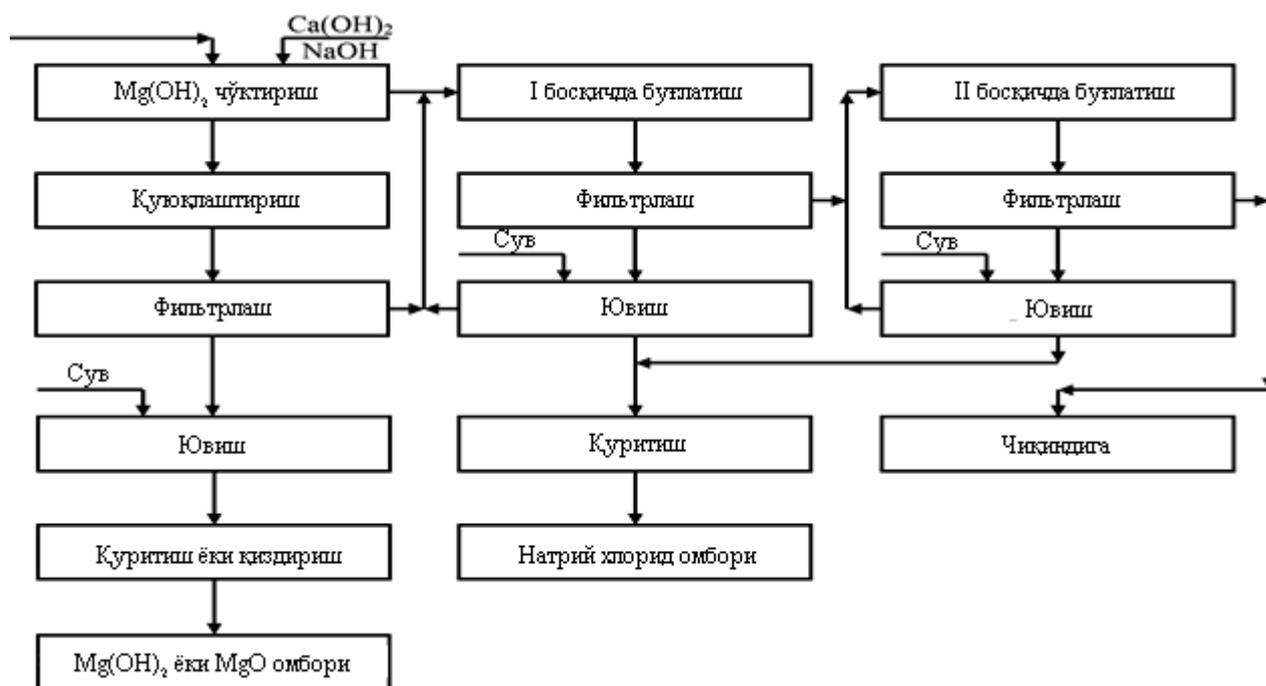


4-расм. Магний гидроксиди рентгенограммаси.

Магний гидроксид ва натрий хлорид олиш жараёнининг технологик тизими ишлаб чиқилди ва моддий баланси ҳисобланди. Тавсия этилган технология «Farg’onaazot» АЖ нинг модел ускунасида синовдан ўтказилиб, маҳсулотнинг тажриба партияси ишлаб чиқарилди. 5-расмда Караумбет ва Барсакельмас тозаланган рапасини магний гидроксидга қайта ишлашнинг блок-тизими келтирилган. Агарда чўктиргич сифатида натрий гидроксид қўлланилса, унда суёқ фаза натрий хлорид, кальций гидроксидда эса натрий ва кальций хлоридлардан иборат бўлади. Биринчиси сода, иккинчиси эса рапани сульфатсизлантиш учун хомашё сифатида ишлатилади.

Ҳисоблар кўрсатдики, жаҳон бозорида техник магний гидроксиднинг ўртача нархи 300 АҚШ доллар бўлиб, маҳаллий хомашёдан 10 минг т маҳсулот ишлаб чиқаришдан кутилаётган иқтисодий самарадорлик кальций ва натрий гидроксидлари қўлланилганда мос равишда 4,79 ва 1,44 млн. АҚШ долларини ташкил этади. Қорақалпоқ кўллари рапасидан мақбул техник-

иктисодий кўрсаткичларга эга магний гидроксид ва натрий хлоридни амалий жиҳатдан олиш мумкинлигини кўрсатди.



**5-расм. Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапасини магний гидроксидга қайта ишлашнинг блок-тизими.**

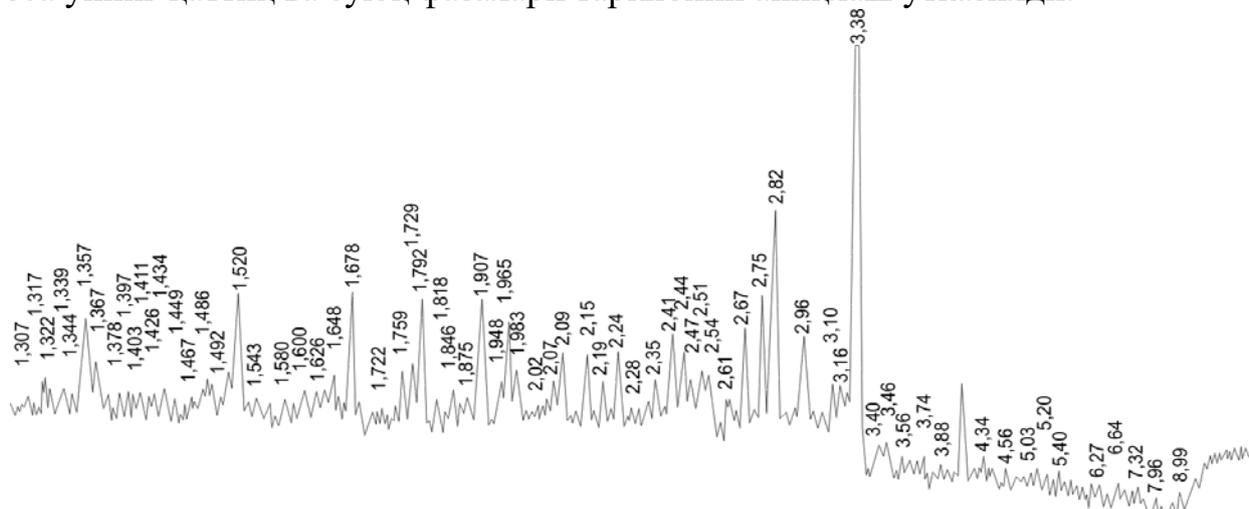
Кейинги босқичда Караумбет ҚАТни ювувчи воситалар таркибига кирувчи – юқори навли натрий сульфат ва кальцинацияланган сода хомашёси – натрий хлоридга қайта ишлаш жараёни ўрганилди. ҚАТ таркиби ўртача 43дан 61% гача  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; 11 дан 15% гача  $\text{MgCl}_2$ ; 13 дан 19% гача  $\text{NaCl}$  оралиғида бўлади.

Тажрибалар учун таркиби (оғир.%):  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – 60,69;  $\text{NaCl}$  – 18,81;  $\text{MgCl}_2$  – 15,30;  $\text{MgSO}_4$  – 0,42;  $\text{CaCl}_2$  – 0,31; э.қ. - 3,98; қолгани –  $\text{H}_2\text{O}$  бўлган намуна ишлатилди. Аввал, сувда эримайдиган қолдиқларни ажратиш йўли билан унинг тиниқ эритмаси тайёрланди. Бунда технологик омилларнинг мақбул шароитлари аниқланди: Қ : С нисбати 1 : 3, эритиш ҳарорати –  $25^\circ\text{C}$ , тиндириш вақти – 15 дақиқа, тиндириш ва фильтрлаш ҳарорати –  $40^\circ\text{C}$ . Бунда ҚАТнинг эриш даражаси 93%, ҚАТ эритмасининг тиниш даражаси – 94%, фильтрланиш даражаси қуюқлаштирилган бўтқа бўйича –  $1348 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{соат}$ , филтрат бўйича эса  $1177 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{соат}$ ни ташкил этади. Бунда эримайдиган қолдиқ таркиби куруқ масса ҳисобида: 16,01%  $\text{CaO}$ , 1,25%  $\text{MgO}$ , 19,9%  $\text{SO}_3$ , 6,59%  $\text{CO}_2$ , 61,33%  $\text{SiO}_2$  ташкил этади ва кальций сульфатининг 0,5 ва 2 сувли шакллари – 5,40; 4,28; 2,75; 2,68;  $2,47\text{Å}$  ва 5,20; 3,40; 3,16; 2,96; 1,79;  $1,52$ ;  $1,37\text{Å}$ , кальций карбонати – 3,88; 2,09; 1,91;  $1,88\text{Å}$  ва кремний оксиди – 3,38; 2,82; 2,44; 2,24; 1,98;  $1,43\text{Å}$  кўринишда намоён бўлади (6-расм).

Шундай қилиб олинган ҚАТ эритмаси кимёвий таркиби (оғир.%):  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – 15,31;  $\text{NaCl}$  – 4,74;  $\text{MgCl}_2$  – 3,97;  $\text{MgSO}_4$  – 0,47;  $\text{CaCl}_2$  – 0,36;  $\text{CaSO}_4$  – 0,08 дан иборат.

ҚАТ массасини ташкил этувчи натрий сульфат минерали (умумий

массага нисбатан 60% дан ошиқ) ҳисобига, тиниқ эритмани совутиш йўли билан мирабилит ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) кристалларини ажратиб олиш тадқиқот ишлари олиб борилди. Бунинг учун совитиш жараёни  $-5^\circ\text{C}$  гача, ҳар  $5^\circ\text{C}$  да эса унинг қаттиқ ва суюқ фазалари таркибини аниқлаш ўтказилди.



**6-расм. ҚАТнинг сувда эримайдиган қолдиғи рентгенограммаси.**

Кўрсатдики, ҳарорат қанча паст бўлса, қаттиқ фазага мирабилит чиқими шунча юқори бўлади. Агар  $20^\circ\text{C}$  да  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  чиқими 11,69% бўлса, унда  $15^\circ\text{C}$  да бу кўрсаткич 31,35%,  $10^\circ\text{C}$  – 62,9%,  $5^\circ\text{C}$  – 81,58%,  $0^\circ\text{C}$  – 83,61% ва  $-5^\circ\text{C}$  – 85,43% гача ортади. Суюқ фазада эса  $\text{NaCl}$ ;  $\text{MgCl}_2$  ва  $\text{CaSO}_4$  миқдорлари мос равишда 4,94 дан 6,68% гача; 4,14 дан 5,52% гача ва 0,08 дан 0,11% гача ортади,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  аксинча 13,52 дан 2,51% гача камаяди (3-жадвал).

**3-жадвал**

**Мирабилитни кристалланиш ҳароратининг қуруқ аралаш тузлар эритмаси таркибига таъсири**

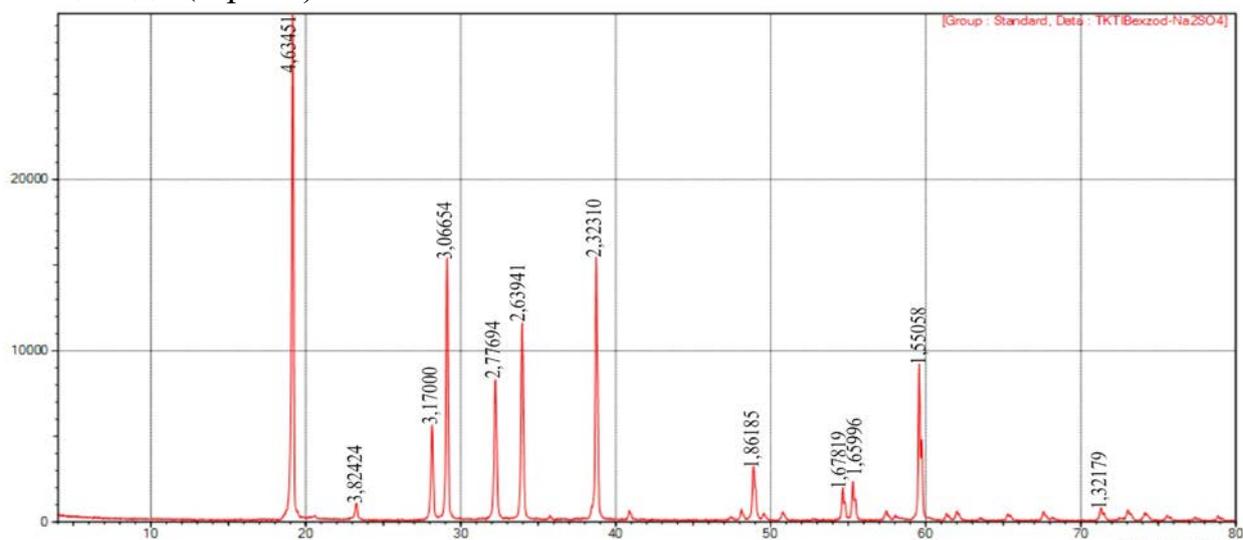
$T_{\text{крист.}}$ , $^\circ\text{C}$ .	Суюқ фазанинг кимёвий таркиби, %					Суюқ фазанинг тузли таркиби, %			
	$\text{Na}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{MgCl}_2$	$\text{NaCl}$	$\text{CaSO}_4$
25	7,92	1,01	0,022	5,83	10,41	15,31	3,97	4,74	0,08
20	6,32	1,06	0,024	6,08	9,19	13,52	4,14	4,94	0,08
15	5,49	1,16	0,026	6,62	7,14	10,51	4,55	5,32	0,09
10	4,22	1,30	0,029	7,46	3,89	5,68	5,08	6,06	0,10
5	3,51	1,41	0,032	8,14	1,96	2,82	5,54	6,61	0,11
0	3,44	1,43	0,032	8,22	1,75	2,51	5,52	6,68	0,11
-5	3,37	1,44	0,032	8,29	1,56	2,23	5,64	6,74	0,11

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  кристалларини ажратиб олиш учун  $0^\circ\text{C}$  да олинган  $1,6102 \text{ г/см}^3$  зичликка эга бўлган бўтқани 84 кПа ортиқча босимда вакуум-филтрда филтрланди. Бунда мирабилитнинг филтрланиш тезлиги  $2460 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{соат}$  ни ташкил этади. Кўрсатдики, чўкма қалинлиги қанча кичик бўлса, бўтқанинг филтрланиш унумдорлиги шунча юқори бўлади.

Сувсиз  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  олиш мақсадида мирабилит чўкмасини 20-500 С ҳарорат оралиғида 10-12 град./дақ., модда оғирлиги 150-200 мг, гальванометрлар сезувчанлиги ДТА-1/1, ДТГ-1/50, ТГ-250 бўлган термик таҳлил ўтказилди.

Таҳлил натижаларига мувофиқ равишда айтиш мумкинки, мирабилит ўзининг кристаллизацион сувида суюқланади, бу эса 33°C да кузатилган эндотермик эффектига мос келади. 70°C дан бошлаб сув йўқотилиши ва 101-102°C дан эритманинг қайнаши содир бўлади. Сувнинг жадал йўқолиши 101-113°C оралиғида кузатилади. Сувнинг тўлиқ йўқотилиши ва  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ҳосил бўлиши эса 200-205°C да содир бўлади.

Термик таҳлил натижаларга асосланиб, мирабилит намунаси 200-205°C да қуритилди, натижада 99% дан кам бўлмаган  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  тутган ва олий навга мос келувчи маҳсулот олинди (ГОСТ 5644-75 бўйича). Дифрактограммада  $d$  қиймати 4,64; 3,83; 3,17; 3,07; 2,78; 2,64; 2,32; 1,86; 1,68; 1,66; 1,55 Å тенг бўлган энг интенсив ва ажралиб турувчи натрий сульфат рефлекслари аниқланди (7-расм).



**7-расм. Натрий сульфат рентгенограммаси.**

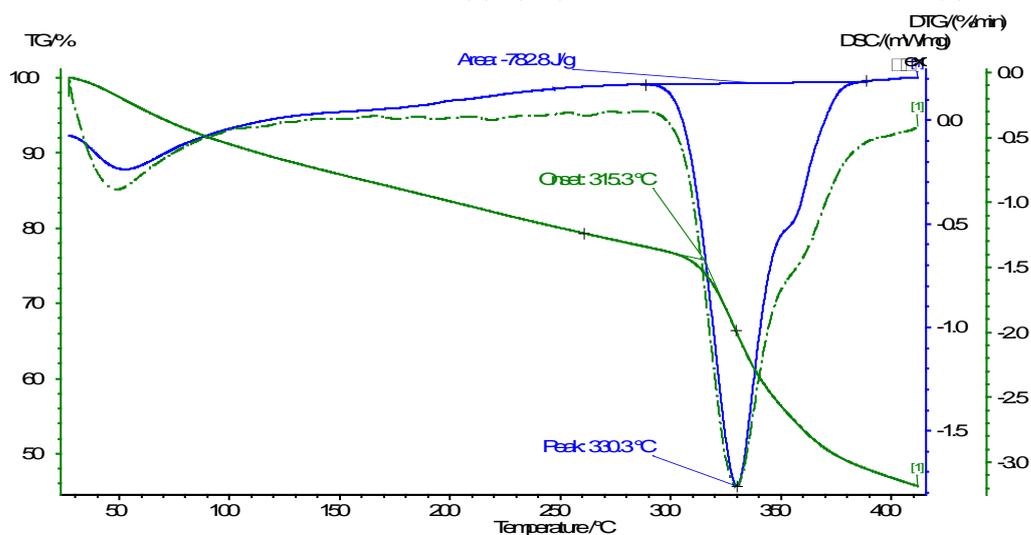
Қараумбет ҚАТдан натрий сульфат ажратиш олиш жараёнининг моддий баланси ҳисобланди ва технологик тизими тавсия этилди.

3-жадвал маълумотларидан кўринмоқдаки, 0°C да ҚАТ эритмасидан мирабилит ажратиш олинган суюқ фаза таркибида (оғир.%):  $\text{Na}^+$  – 3,44;  $\text{Mg}^{2+}$  – 1,43;  $\text{Ca}^{2+}$  – 0,032;  $\text{Cl}^-$  – 8,22;  $\text{SO}_4^{2-}$  – 1,75 ёки  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – 2,51;  $\text{NaCl}$  – 6,68;  $\text{MgCl}_2$  – 5,52;  $\text{CaSO}_4$  – 0,11 қолади. Қолдиқ сульфатлар миқдори қолганлиги боис, магний гидроксидга қайта ишлашдан олдин уни 100 %-ли меъёрдаги ДС ёрдамида сульфатсизлантирилди. Натижада 8,84%  $\text{NaCl}$  ва 6,39%  $\text{MgCl}_2$  тутган, 86% дан кам бўлмаган сульфатсизланиш даражасига эга тозаланган эритма олинди. Унда  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  йўқ,  $\text{CaSO}_4$  миқдори эса атиги 0,34% ни ташкил этади, бу эса унинг сувли эритмадаги эрувчанлигига тўғри келади. Тушган икки сувли кальций сульфат чўкмаси енгил филтрланади.

Сульфатсизланган эритмани магний гидроксидга қайта ишлаш мақсадида уни  $\text{NaOH}$  и  $\text{Ca(OH)}_2$  ёрдамида нейтраллаш жараёни амалга оширилди.  $\text{Mg(OH)}_2$  ни чўктиришни 10 дақиқа давомида 25°C ва доимий аралаштиришда олиб борилди. Чўктирувчилар сарфи суспензиянинг рН муҳити ва чўкмадаги  $\text{Mg}^{2+}$  иони миқдори билан назорат қилинди. Аниқландики, эритмани натрий гидроксид билан унинг 100-105% меъёрига

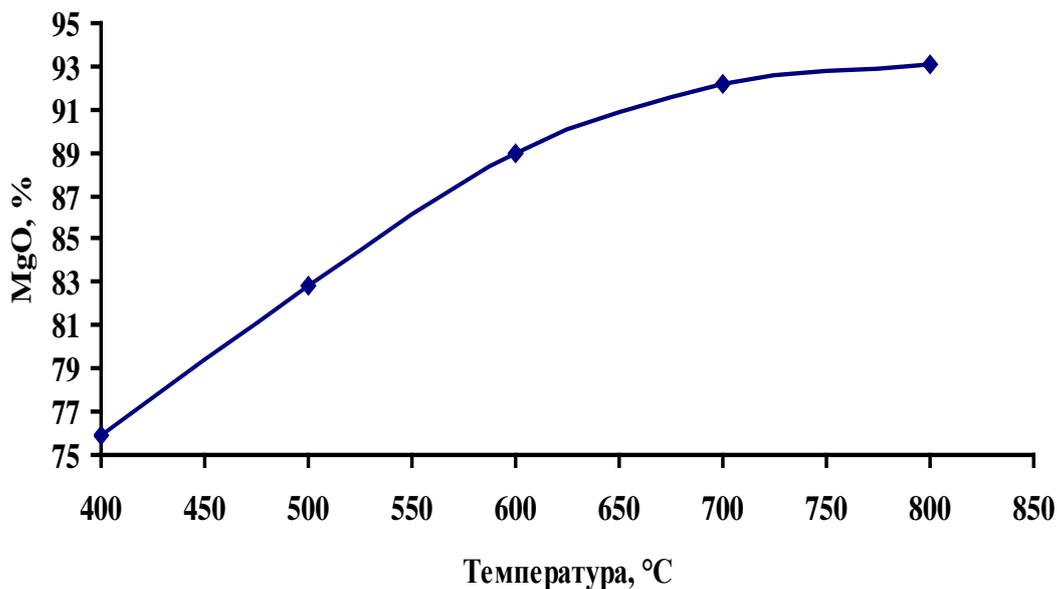
тўғри келадиган рН = 11 гача нейтраллашда магний гидроксиднинг чўкиш даражаси 99% ни ташкил этади. Бунда чўкма центрифуга ёрдамида ажратилди ва 100°C да қуритилди. ҚАТнинг чўкмаси рентгенограммаси кўрсатдики, унинг тузли таркиби рападан олинган магний гидроксид таркибига жуда яқиндир (4-расм).

Тадқиқотнинг яқунловчи босқичи магний гидроксидни термик куйдириб магний оксид олиш ҳисобланади. Дериватограммадан яхши кўринмоқдаки (8-расм), MgO ҳосил қилиш учун ишлов беришнинг 410°C дан кам бўлмаган ҳарорати зарур ҳисобланади. Бунда Mg(OH)<sub>2</sub> гидратациясининг бошланғич жараёни 315,3°C, гидратация тугалланиши 410°C ни ташкил этади. Намлик йўқолишининг максимал тезлиги дақиқасига 3% ни ташкил этади.



**8-расм. Магний гидроксид дериватограммаси.**

Лаборатория шароитларида магний гидроксидни термик ишлов бериш бўйича тажрибалар 400 дан 800°C гача ҳароратда ўтказилди. 9-расмдан хулоса қилиндикки, магний оксидни ҳосил қилишнинг мақбул шароитлари: ҳарорат – 700-800°C ва қиздириш давомийлиги 60 дақиқа ҳисобланади.



## 9-расм. Қиздириш ҳароратининг 60 дақиқа давомида магний оксид миқдорига таъсири.

Синтез қилинган MgO сифати бўйича Давлат андозалари (ГОСТ 844-79) талабларга жавоб беради. Унда  $Mg^{2+}$  иони миқдори 58,8% ни, MgO асосий моддаси эса 94% дан кам бўлмаган миқдорни ташкил этади. Ўтказилган тадқиқотлар асосида Қараумбет аралаш тузларини кимё саноатида кенг қўлланиладиган ва қўшимча қийматга эга бўлган маҳсулотларга комплекс қайта ишлаш имконини берувчи технологик тизим ишлаб чиқилди (10-расм).

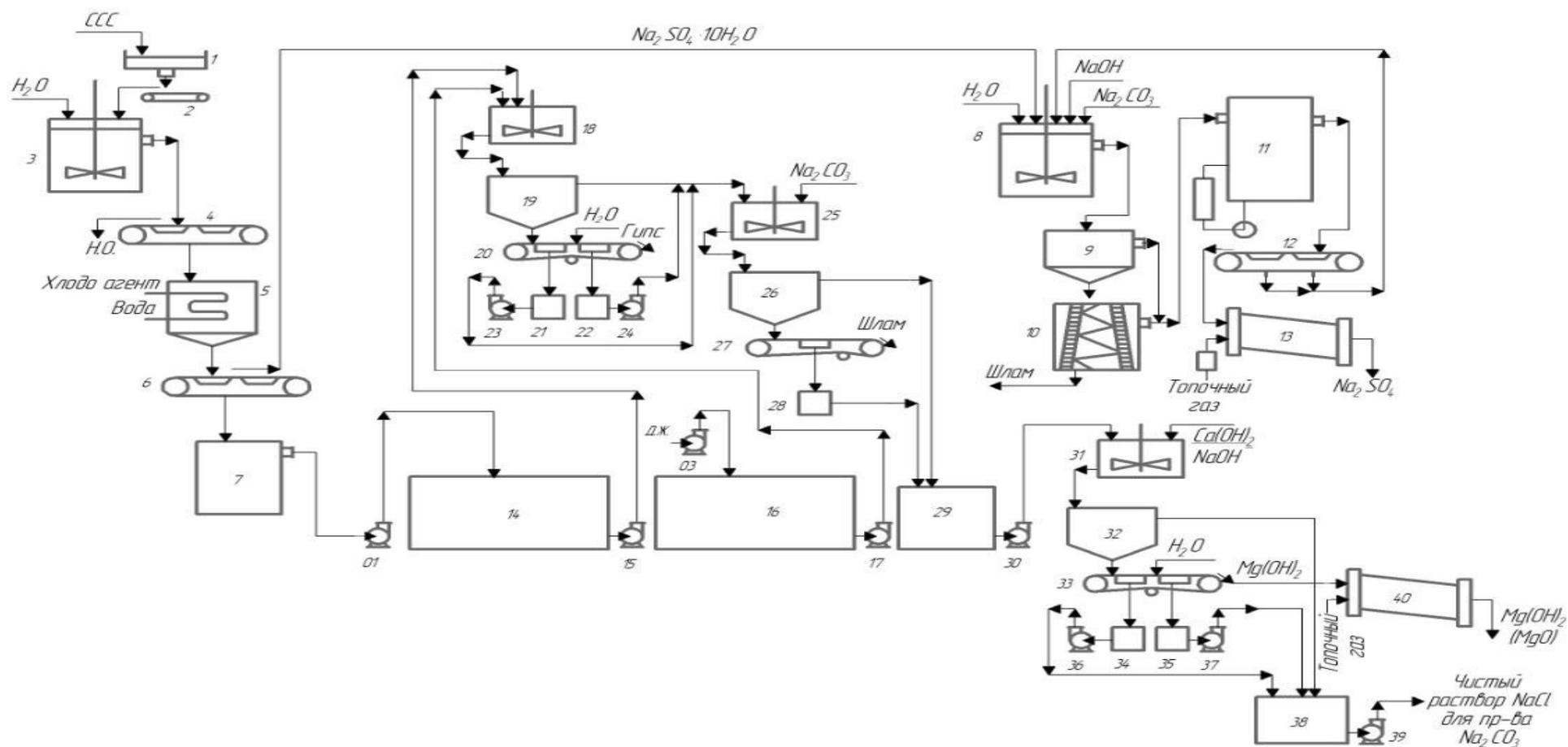
«Farg'onaazot» АЖ модел ускунасида ҚАТни бир вақтнинг ўзида натрий хлорид, гипс ва бўр ажратиб олиш орқали магний оксидга қайта ишлаш технологиясининг синовлари ўтказилди. Оралиқ жараёнда 11,99 т  $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$  ёки 4,72 т  $Na_2SO_4$ , 1,05 т  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ , 0,15 т  $CaCO_3$ , 45,95 т эритма ёки 8,27 қаттиқ NaCl олиш билан 1 тонна  $Mg(OH)_2$  ишлаб чиқариш учун хомашё ва оралиқ маҳсулотлар сарф коэффициентлари, ундан ташқари технологик режимнинг асосий меъёрлари ҳисобланди. Улар учун 10,71 т ССС, 32,13 т сув, 16,52 т ДС ва 1,38 т NaOH талаб этилади.

Моддий баланс ҳисоби бўйича 10,71 т Қараумбет ҚАТни 1 т магний гидроксидга қайта ишлашда қўшимча равишда 4,718 т олий навли натрий сульфат, 1,05 т гипс, 0,15 т бўр, 8,27 т натрий хлориди ҳамда тозаланган 39,05 м<sup>3</sup> сув ҳосил бўлади. Техник-иқтисодий ҳисоблар кўрсатдики, иқтисодий самарадорлик йилига 10 000 т магний гидроксиди ишлаб чиқарилганда 54,26 млрд. сўмни ташкил этади.

Бешинчи бобда **Қараумбет рапаси ва қуруқ аралаш тузини қўллаш орқали сода ишлаб чиқариши чиқиндиси – дистиллер суюқлигини қайта ишлаш**» ДСдаги кальций ионларини 20 %-ли эритма кўринишидаги мирабилит, рапа ва ҚАТ ёрдамида тозалаш жараёни натижалари келтирилган. Чўктирувчи реагентлар меъёрини  $CaSO_4$  дигидрати ва NaCl ҳосил қилишга қаратилган  $SO_4^{2-}$  -аниони ва  $Ca^{2+}$  -катиони ўртасидаги ўзаро таъсирлашиш реакцияси ҳисоблаб чиқилди. Тажрибаларда ўзгарувчан параметрлар:  $Na_2SO_4$  меъёри (стехиометриядан 75; 90; 100; 105; 110; 125; 150%), ҳарорат (20; 40; 60°C) ва вақт (5; 10; 15; 20; 30; 60; 180 дақиқа), доимий параметр эса аралаштиргич тезлиги – 250 айл/дақ. бўлди. ДСни кальцийсизлантириш жараёнида кимёвий чўктирилган гипс ва натрий хлориднинг тозаланган эритмаси ҳосил бўлади. Тозаланган эритма эса кальцинацияланган сода ишлаб чиқаришнинг дастлабки жараёнига қайтарилди. Таъкидлаш лозимки, рапа ва ҚАТни ишлатишда эритмада NaCl қаторида  $MgCl_2$  иштирок этади. Шу сабабли, бишофитни натрий гидроксид билан нейтраллаш орқали магний гидроксид олинди.

Ўтказилган тажрибалар асосида ДСни тозалашнинг мақбул шароитлари ўрнатилди: сульфат ионлари меъёри – 100%, ҳарорат – 20°C ва аралаштириш давомийлиги – 30 дақиқа. 100 %-ли меъёрнинг танланиши сабаби, ундан кам бўлганда ДСнинг кальций ионларидан тозаланиш самараси камаяди, кўп бўлганда эса натрий хлорид эритмасида  $SO_4^{2-}$  қолдиқ ионлари пайдо бўлади. Вақтнинг 30 дақиқадан ошиши ДЖнинг кальций ионларидан тозаланиш даражасининг сезиларли ортишига олиб келмайди. Жараён давомийлиги 30

дақиқадан камида кальций сульфат дигидрати чўкиши етарлича содир



**10-расм. Караумбет курук аралаш тузларини натрий сульфат, гипс, бўр ва магний гидроксидга (оксид) комплекс қайта ишлашнинг технологик тизими:**

1 – бункер; 2 – дозатор; 3 – эритиш учун реактор; 4, 6, 12, 20, 27, 33 – вакуум-фильтрлар; 5 – кристаллизатор; 7, 14 – Na ва Mg хлоридлар эритмалари учун сиғим; 8 – мирабилитни жритиш ва тозалаш учун реактор; 9, 19, 26, 32 – конуссимон конические тиндиргич-куюқлаштиргич; 10 – центрифуга; 11 – буғлатгич қурилмаси; 13 – қуритиш барабани; 15, 17, 23, 24, 30, 36, 37, 39 – марказдан қўшма насослар; 16 – дистиллер суюқлиги учун сиғим; 18 – сульфатсизлантириш реактори; 21, 28, 36 – асосий филтратлар мажмуаси; 22, 35 – ювинди сувлар мажмуаси; 25 – тозалаш реактори; 29 – Na ва Mg хлоридлар эритмаси учун сиғими; 31 – чўктиргич-реактор; 38 – натрий хлорид эритмаси сиғими; 40 – қуритиш барабани.

бўлмайди. Жараён ҳароратининг 25 дан 60°C гача кўтарилиши ДСнинг кальцийсизланиш даражаси пасайишига олиб келади, бу натрий хлорид сувли эритмасида  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  эрувчанлиги ошиши билан боғлиқдир.

Шундай қилиб, топилган мақбул шароитларда тозаланган ДСнинг туз таркиби куйидагича бўлади: мирабилит қўлланилган ҳолатда 0,018%  $\text{MgCl}_2$ , 10,60%  $\text{NaCl}$ , 0,31%  $\text{CaCl}_2$ , кальцийсизланиш даражаси – 96,37%, рапа учун 15,36%  $\text{NaCl}$ , 7,14%  $\text{MgCl}_2$ , 0,44%  $\text{CaSO}_4$ , кальцийсизланиш даражаси – 94,71% ва ҚАТ учун 8,85%  $\text{NaCl}$ , 2,37%  $\text{MgCl}_2$ , 0,27%  $\text{CaSO}_4$ , кальцийсизланиш даражаси – 96,3%. Бунда гипс чўкмаларининг филтрланиш тезлиги қуруқ чўкмада 600-800 кг/м<sup>2</sup>·соатдан кам бўлмайди.

ДСни кальций қолдиқ ионидан чуқур тозалаш мақсадида натрий карбонат ёрдамида ишлов берилди. Бунда ДСнинг 100 %-ли кальцийсизланиши таъминланган, бўр чўкиши етарлича жадал боради. Унинг филтрланиш тезлиги қуруқ чўкма бўйича 500-700 кг/м<sup>2</sup>·соат ташкил этади. Гипс ва бўрнинг қуририлган намуналарини боғловчи материаллар сифатида ишлатиш мумкин.

Мирабилит, рапа ва ҚАТ иштирокида ДСни тозалаш жараёнининг принципиал технологик тизими тавсия этилди ва моддий баланси ҳисобланди. Натижалар кўрсатдики, рапа ва ҚАТ эритмалари қўлланилганда, натрий хлорид эритмасида магний ионлари пайдо бўлади, бу уларни магний бирикмаларига қайта ишлашнинг қўшимча босқичини талаб этади.

«Кўнғирот сода заводи» УК ишлаб чиқариши чиқиндиси - ДСни мирабилит ёрдамида тозалаш технологияси синовлари «Fargonaazot» АЖнинг тажриба ускунасида ўтказилди. Бунда ишлаб чиқарилган тозаланган  $\text{NaCl}$  таркиби (оғир. %):  $\text{Ca}^{2+}$  - йўқ,  $\text{Mg}^{2+}$  - 0,003;  $\text{Na}^+$  - 5,99;  $\text{Cl}^-$  - 9,24;  $\text{SO}_4^{2-}$  - 0,10 сода ишлаб чиқариши учун хомашё сифатида тўла яроқлидир. Ҳосил бўлган кальций сульфат дигидрати ўзининг кимёвий таркиби бўйича тоза гипсга мос келади ва қурилиш материали сифатида ёки бошқа мақсадлар учун фойдаланилади.

Техник-иқтисодий ҳисоблар кўрсатдики, 100 минг т ДСни қайта ишлаш орқали 14,1 минг т чўктирилган гипс ва 123,5 минг т натрий хлорид эритмаси (19,5%  $\text{NaCl}$ ) ёки 24,1 минг т натрий хлориди олиш мумкин ва йиллик иқтисодий самарадорлик 2,38 млрд. сўмни ташкил этади. Натрий хлорид билан биргаликда 1,0 м<sup>3</sup> тозаланган сув нархи ўртача 2500 сўм бўлган сув эса сода ишлаб чиқариш жараёнига қайтарилади. Шундай қилиб, ўтказилган ҳисоблар ДСни Караумбет тузлари ёрдамида тозалаш технологиясининг юқори самарадорлигини кўрсатди.

Илмий ва технологик тадқиқотлар асосида ёпиқ цикл бўйича Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапаси ва ҚАТни қайта ишлаш асосида бир вақтнинг ўзида гипс, бўр ва ош тузини олиш билан бишофит, натрий сульфат, магний гидроксид (оксид) ишлаб чиқаришини ташкил этиш учун меъёрий-техник ҳужжатлар (вақтинчалик технологик регламент, лойиҳалаш учун дастлабки маълумотлар) ишлаб чиқилди. Технологиялар чиқиндисиз ҳисобланади, сода ишлаб чиқариш корхоналарининг йирик тоннажли чиқиндиси – ДС қисман қайта ишланиб ишлаб чиқаришга қайтарилади.

## ХУЛОСА

Диссертация ишини бажаришда олинган асосий илмий ва амалий натижалар қуйидагилар ҳисобланади:

1. Бишофит, магний гидроксид (оксид) ва ош тузи олиш учун хомашё – денгиз типигаги Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапасининг кимёвий-минералогик таркиби аниқланди. Табиий (ёзги) буғлатиш ва қишқи чўктириш шароитларида рапани концентрлаш жараёнлари ўрганилди. Рапани 2 босқичли буғлатиш жараёни тавсия этилди, 1-босқичда рапани зичлиги 1,245 дан 1,38 г /см<sup>3</sup> гача, иккинчида эса NaCl чўкмасини ажратгандан сўнг 1,35 г/см<sup>3</sup> гача оширилади. Тоза NaCl олиш мақсадида иккала босқичда рапани сульфатли ионлардан тозалаш жараёнини амалга ошириш лозим.

2. Рапани ДС билан сульфатсизлантиришнинг мақбул шароитлари аниқланди: ДС меъёри – 105%, аралаштириш вақти – 30 дақиқа, жараён ҳарорати – 20 С, бунда рапада сульфатли ионлар миқдори 2,34-6,66% дан 0,29-0,85% гача камаяди. Гипсли суспензия осон филтрланади (кальций сульфат бўйича 600-800 кг/м<sup>2</sup>·соат). Қолдиқ кальций ионларидан тозалаш учун 105 %-ли Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> меъёри талаб этилади (кальций карбонат бўйича 400-500 кг/м<sup>2</sup>·соат). Барий хлорид сульфатли ионлардан 99,5% тозалашни таъминлайди, бунда SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> миқдори 0,001% гача камаяди.

3. Таркибида 9% MgCl<sub>2</sub> ва 15,5% NaCl бўлган тозаланган рапани 2 босқичли буғлатиш йўли билан бишофит олиш жараёни ўрганилди. Ҳар бир босқичда 98% дан кам бўлмаган тозаликдаги NaCl кристаллари чўқади. Биринчи босқичда суяқ фазада MgCl<sub>2</sub> концентрацияси 24% гача, иккинчида эса 46,9% гача ортади, бу эса магний хлорид гексагидратига мос келади. 1 т маҳсулотнинг таннархи 1 106 663 сўмни, четдан келтириладиган бишофит эса 450 АҚШ долларини ташкил этади. Йилига 15 минг т бишофит ишлаб чиқаришда иқтисодий самарадорлик 5,53 млрд. сўмни ташкил этади. Бунда қўшимча 23 минг т NaCl, 3,3 минг т CaSO<sub>4</sub> ва 0,55 минг т CaCO<sub>3</sub> олинади.

4. Караумбет ва Барсакельмас кўли тозаланган рапасидан магний гидроксид ва натрий хлорид олиш жараёни ўрганилди. Ишқорий реагентларнинг мақбул 105% меъёри аниқланди ва магний гидроксидининг чўкиш даражаси NaOH ва Ca(OH)<sub>2</sub> учун мос равишда 99,41 ва 98,15% ташкил этади. Қуритилган маҳсулот Б маркага мос келади (94% Mg(OH)<sub>2</sub>). Магний гидроксиднинг жаҳон бозоридаги ўртача нархи 300 АҚШ доллар бўлиб, NaOH ва Ca(OH)<sub>2</sub> қўллаш орқали йилига 10 минг т магний гидроксиди ишлаб чиқаришдан олинандиган иқтисодий самарадорлик мос равишда 1,44 ва 4,79 млн. АҚШ долларини ташкил этади. Олинган NaCl тозаланган эритмаси эса кальцинацияланган сода ишлаб чиқариш дастлабки жараёнига қайтарилади.

5. Караумбет ҚАТни гипс, бўр ва NaClни тиниқ номокобинини олиш орқали натрий сульфат ва магний оксидга комплекс қайта ишлаш жараёни ўрганилди. Бунда тиниқ ҚАТ эритмасини тайёрлаш шароитлари аниқланди: Қ:С=1:3, эритиш ҳарорати – 25°С, сувда эримайдиган қолдиқнинг тиндириш вақти – 15 дақиқа, тиндириш ва филтрлаш ҳарорати – 40°С. Тиниқ эритма

қуйидаги (оғир.%):  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – 15,31;  $\text{NaCl}$  – 4,74;  $\text{MgCl}_2$  – 3,97 таркибга эга бўлади. Аввал  $0-5^\circ\text{C}$  гача совутиш йўли билан эритмадан мирабилит кристаллари ажратилади, кейин эса уларга  $200-210^\circ\text{C}$  да ишлов бериш йўли билан олий навга (ГОСТ 6318-77) мос келадиган тоза  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  олинади.

6. Мирабилитни ажратиб олиш жараёнидан кейин тиниқ эритмани (2,51%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; 6,68%  $\text{NaCl}$ ; 5,52%  $\text{MgCl}_2$ ) тозалаш жараёни ўрганилди, бунда ДС ва  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  қўлланилди. Тозаланган эритмани натрий ва кальций гидроксидлар билан  $\text{pH} = 10,5-11$  гача нейтраллаш тоза  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  олиш имконини беради.  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  ни қиздиришнинг мақбул ҳарорати ва вақти  $700-800^\circ\text{C}$  ва 120 дақиқа ҳисобланади, бунда 94% дан кам бўлмаган  $\text{MgO}$  тутган маҳсулот олинади. ҚАТни 1 т магний гидроксидга қайта ишлашда қўшимча 4,718 т натрий сульфат, 1,05 т гипс, 0,15 т бўр, 8,27 т натрий хлорид олинади. Йилига 10 000 т магний гидроксиди ишлаб чиқарилганда умумий иқтисодий самарадорлик эса 54,26 млрд. сўмни ташкил этади.

7. ДСни (5,55%  $\text{NaCl}$ , 8,41%  $\text{CaCl}_2$ ) тозалашда уни ҚАТ ва мирабилит қўллаш орқали чўктирилган гипс ва  $\text{NaCl}$  номокобига қайта ишлаш жараёни ўрганилди. Кальцийсизлантиришнинг мақбул шароитлари аниқланди: сульфатли ионлари меъёри – 100-102%; ҳарорат –  $20^\circ\text{C}$  ва вақт – 30 дақиқа, бунда 96,37% кальций ионлари чўкади ва  $\text{NaCl}$  тозаланган эритмаси олинади. Иқтисодий ҳисоблар кўрсатдики, 100 минг т ДСни қайта ишлаб 14,1 минг т чўктирилган гипс ва 123,5 минг т  $\text{NaCl}$  тоза эритмаси олинганда йиллик соф фойда 2,38 млрд. сўмни ташкил этади.

8. Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапалари ва ҚАТни комплекс қайта ишлашга имкон берувчи технологик тизим ва технологик режимлар меъёри тавсия этилди ҳамда моддий баланс ва оқимлари ҳисобланди. «Farg'onaazot» АЖнинг модел ускунасида Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапаси ва ҚАТни комплекс қайта ишлаш йўли билан бишофит, магний гидроксид (оксид) ва натрий сульфат олиш технологияси синовлари ўтказилди.

9. Караумбет ва Барсакельмас кўллари рапаси ва ҚАТ асосида бир вақтнинг ўзида гипс, бўр ва натрий хлорид олиш орқали бишофит, натрий сульфат ва магний гидроксид (оксид) ишлаб чиқаришнинг меъерий-техник ҳужжатлари (вақтинчалик технологик регламент, дастлабки маълумотлар) ишлаб чиқилди. Технологиялар чиқиндисиз ҳисобланади, йирик тоннажли чиқинди – ДС ҳажмини маълум даражада камайтиради.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02/30.12.2019.К/Т.35.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ ОБЩЕЙ И  
НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ФЕРГАНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**ТОЖИЕВ РУСТАМБЕК РАСУЛОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ  
СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ ОЗЕР КАРАУМБЕТ И БАРСАКЕЛЬМЕС НА  
БИШОФИТ, ГИДРООКСИД И ОКСИД МАГНИЯ И СУЛЬФАТ  
НАТРИЯ**

**02.00.13 – Технология неорганических веществ и материалов на их основе**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА  
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК (DSc)**

**Ташкент - 2020 год**

**Тема диссертации доктора наук (DSc) зарегистрирована под номером B2019.3.DSc/K72 Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан.**

Диссертация выполнена в Ташкентском химико-технологическом институте и Ферганском политехническом институте.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного семинара ([www.ionx.uz](http://www.ionx.uz)) и Информационно-образовательном портале «Ziynet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный консультант:** **Мирзакулов Холтура Чориевич**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** **Номозов Шафоат Саттарович**  
доктор технических наук, профессор, академик

**Реймов Ахмед Мамбеткаримович**  
доктор технических наук, профессор  
**Султонов Боходир Элчиевич**  
доктор технических наук, доцент

**Ведущая организация:** **Наманганский инженерно-технологический институт**

Защита состоится «22» июля 2020г. в «14<sup>00</sup>» часов на заседании разового Научного совета DSc.02/30.12.2019.К/Т.35.01 при Институте общей и неорганической химии по адресу: 100170, г.Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 77-а.Тел.: (+99871) 262-56-60; факс: (+99871) 262-79-90; e-mail: [ionxanruz@mail.ru](mailto:ionxanruz@mail.ru)

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Института общей и неорганической химии за № \_\_\_\_, с которой можно ознакомиться в информационно-ресурсном центре (100170, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 77-а. Тел.: (+99871) 262-56-60).

Автореферат диссертации разослан «17» июля 2020 года.  
(протокол рассылки № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_.2020 г).



**Б.С. Закиров**

Председатель разового научного совета по присуждению  
учёной степени, д.х.н., профессор

**Д.С. Салиханова**

Учёный секретарь разового научного совета по присуждению  
учёной степени, д.т.н., профессор

**С.А. Абдурахимов**

Председатель научного семинара при научном совете по присуждению  
учёной степени, д.т.н., профессор

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность и необходимость темы диссертации.** В условиях перехода к качественно новому этапу формирования индустриальной и конкурентноспособной экономики встает задача организации производства импортозамещающей и экспортоориентированной продукции, что является важным для развития экономики и технического прогресса любого государства. Сегодня о развитии страны необходимо судить не только по природным богатствам, но и по наличию в её активе передовых технологий. В этом аспекте создание инновационных технологий переработки местных ресурсов в конкурентноспособные продукты является приоритетной задачей.

В мировой практике при производстве чистых солей магния, натрия и кальция из природных источников – рассолов соляных озер, морской воды и солевых отложений особое внимание уделяется разработкам технологий, обеспечивающих всестороннее использование сырья, способствующих удешевлению основных продуктов. Поэтому вполне закономерно, что меры по улучшению окружающей среды тесно связаны с мероприятиями по рациональному использованию природных ресурсов. В этом плане необходимо обосновать ряд научно-технических решений в следующих направлениях, в том числе: разработка метода глубокой очистки рапы и сухих смешанных солей (ССС) озер от примесей; получение очищенных растворов соединений магния и натрия; разработка технологии комплексной переработки очищенной рапы и СССР озер, отхода содового производства на бишофит, сульфат и хлорид натрия, гидроксид и оксид магния, осаждаемый гипс и мел.

На сегодняшний день в республике достигнуты определенные научно-практические результаты по переработке природных сульфатно-хлоридных залежей, мирабилита и астраханита Аральского региона, а также отходов соды на поваренную соль, карбонат натрия, буркеит, сульфаты калия и аммония, дефолианты и закрепители засоленных почв, добавки к цементам. В третьем направлении Стратегии действия по дальнейшему развитию Республики Узбекистан, предусмотренной в 2017-2021 гг. отмечены важные задачи, направленные на «...развитие высокотехнологичных перерабатывающих отраслей, прежде всего по производству готовой продукции с высокой добавленной стоимостью на базе глубокой переработки местных сырьевых ресурсов...»<sup>3</sup>. В этом аспекте важное значение имеет разработка рациональной технологии получения бишофита, сульфата натрия, оксида магния, поваренной соли, осаждаемого гипса и мела путем комплексной переработки рапы и СССР озер Караумбет и Барсакельмес.

Данное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года УП-4947 «Стратегия действий по пяти приоритетным

---

<sup>3</sup> Указ Президента Республики Узбекистан «Стратегия действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах»

направлениям Республики Узбекистан на 2017–2021 годах», Постановлениях ПП-3983 от 25 октября 2018 года «Меры по ускоренному развитию химической промышленности в Республике Узбекистан» и ПП-4265 от 3 апреля 2019 года «О мерах по дальнейшему реформированию химической промышленности и повышению ее инвестиционной привлекательности» и других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии в республике.** Настоящее исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий в республике: VII. «Химическая технология и нанотехнология».

**Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации<sup>4</sup>.** Научные исследования, направленные на переработку рассолов соляных озер, морской воды и природных залежей, отходов содового производства в поваренную соль, бишофит, оксид магния, сульфаты натрия и калия, осуществляются в ведущих научных центрах и учреждениях мира, в том числе US Magnesium LLC и Mineral Research Development (США), Israel Chemicals Limited ICL и Dead Sea Magnesium Ltd (Израиль), SDIC Xinjiang Luoboro Potash Co Ltd., Jinzhou Huacheng Magnezium Company и Weifang Bell Chemical Co Ltd (Китай), Rima Industrial (Бразилия), Magnohrom (Сербия), POSCO (Южная Корея), ПО «Карабогазсульфат» (Туркменистан), Харьковский политехнический институт (Украина), РХТУ им. Д.И.Менделеева и Институт прикладных исследований Республики Башкортостан (Россия), Ташкентский химико-технологический институт и Институт общей и неорганической химии (Узбекистан).

В мире на основе проведенных исследований по переработке смешанной рапы озер, морской воды и солевых отложений получен ряд весомых результатов, в том числе: созданы научные основы получения бишофита путем испарения рапы Большого соленого озера в штате Юта и соленой воды Мертвого моря с применением солнечных прудов-испарителей и вакуум-выпарных аппаратов (Great Salt Lake Minerals Corp., Kaiser Refractories и US Magnesium LLC, США, Dead Sea Magnesium Ltd, Израиль); разработаны способы получения гидроксида и оксида магния из морской воды путем её смешения с обожженным доломитом или известняком, аммонизации смешанной рапы Сивашского озера и Волгоградского бишофита (South Bay Salt Works Chula Vista, США и Jinzhou Huacheng Magnezium Company, Китай, ОАО «Бром», Украина, НПО «Каустик», Россия); налажены производства первичного (металлического) магния, титановой губки и стали путем глубокой переработки рассолов соляных озер и морских вод (Rima Industrial Бразилия; Magnohrom, Сербия; POSCO, Южная Корея; Chaoyang Jinda Titanium Co. Ltd, Китай); организованы производства мирабилита, эпсомита и бишофита из поверхностных и погребенных рассолов залива Кора-Богаз-Гол (ПО «Карабогазсульфат», Туркменистан); разработаны способы

---

<sup>4</sup> Обзор зарубежных исследований по теме диссертации: <https://www.arpet.ru/material/>, <http://www.mineral.ru/News/1669.html>, <https://edrid.ru/rid/217.015.e556.html>, <http://library.sgau.ru>, <http://elibrary.ru>, <http://wikipedia.org/wiki/>, <http://www.academia.ru>, <http://www.chemistry.or.jp/en>, <http://sciencedirect.com> и другие источники.

переработки отходов производства кальцинированной соды на хлористый кальций и натрий, углекислый газ и окись кальция, цементную добавку, дефолианты и закрепители почв (Стерлитамакское ОАО “Сода”, “Лисичанская сода”, Россия, Украина и ТХТИ и ИОНХ, Узбекистан).

В мире с целью получения чистых солей сульфатов натрия и калия, бикарбоната натрия, хлоридов натрия и магния из смешанных солей озер, морской воды, отходов соды проводится ряд научных исследований по следующим приоритетным направлениям, в том числе: всестороннее изучение рапы и смешанных солей озер, разработка способов их очистки от примесей; переработка очищенной рапы на бишофит и гидроксид магния; создание технологии комплексной переработки сульфатно-хлоридных солей на сульфат и хлорид натрия, оксид магния; переработка дистиллерной жидкости (ДЖ) – отхода содового производства на целевые продукты.

**Степень изученности проблемы.** В научно-технической литературе имеется большой объём данных по глубокой переработке сульфатно-хлоридных рассолов, смешанной рапы соляных озер и морской воды, минерального сырья – доломита, брусита, серпентинита на соединения натрия, магния и калия (Здановский А.Б., Шихеев Л.В., Каганович Ю.Я., Лужная Н.П., Дзенс-Литовский А.И., Соколов И.Д., Набиев М.Н., Осичкина Р.К., Тухтаев С., Умаров А.А., Мирзакулов Х.Ч., Эркаев А.У., Дадаходжаев А.Т., Бобокулова О.С., Кучаров Б.Х., Габдуллин А.Н., Нажарова Л.Н., Гаприндашвили В.Н., Григорьев А.Л., Chen T.T., Vaba A.A., Yildirim M.).

Для синтеза бишофита, мирабилита, астраханита, карналлита, сильвинита, галита, арканита, глазерита, вантгоффита, кизерита из рассолов первыми исследователями системы  $2Na^+$ ,  $2K^+$ ,  $Ca^{2+}||SO_4^{2-}$   $2Cl^-$ ,  $H_2O$ , соответствующей примерному составу морской воды, считаются Я.Г.Вант-Гофф, Н.С.Курнаков, С.Ф.Жемчужный, А.Г.Бергман. Но каждое месторождение природных солей по своему уникальны (ввиду непостоянства минералогического состава и свойств), поэтому известные технологии нельзя перенести на условия озер Караумбет и Барсакельмес. Исходя из специфики любого месторождения, требуются отдельные научные и технологические исследования для подбора оптимальных условий их переработки.

Другая задача – это утилизация ДЖ в целевые продукты (Крашенников С.А., Шульгина Н.Л., Загидуллин Р.Н., Зозуля А.Ф., Наркевич И.П., Рамбергенов А.К., Искендеров А.М., Реймов К.Д.). В настоящее время данной проблемой занимается ряд научно-исследовательских организаций и лабораторий предприятий. Так, А.М.Искендеровым с применением ДЖ разработана технология очистки низкосортной поваренной соли и получения добавки к цементу. К.Д.Реймовым разработан способ получения хлорида натрия и плава хлорида кальция путем упарки ДЖ с использованием вторичных энергоресурсов. Первый продукт возвращается на производство соды, а второй используется в качестве закрепителя почв. Х.Палвоновым предложен способ получения дефолианта путем конверсии ДЖ с хлоратом натрия.

Однако отсутствуют данные по переработке ДЖ на химически осажденный гипс и чистый рассол хлорида натрия с вовлечением мирабилита, рапы и ССС озера Караумбет. Технология переработки ДЖ позволит значительно сократить объемы отхода, снизить степень загрязнения окружающей среды и себестоимость продукта – кальцинированной соды.

**Связь диссертационного исследования с тематическим планом научно-исследовательских работ.** Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Ташкентского химико-технологического института по прикладному и инновационному проектам А-6-274 «Комплексная переработка рапы озера Караумбет Республики Каракалпакстан» (2006-2008 гг.) и ИД-2-003 «Опытное-промышленное освоение производств хлорида натрия, сульфата натрия, хлорида магния и оксида магния из рапы озер Караумбет и Барсекельмес» (2009-2010 гг.), а также хоздоговора от 20.04.2010 г. между Госкомприродой РУз и НПП “ILM-FAN TECHNOLOGIAYALAR” 06/10 «Разработка технологии утилизации отходов “Кунградский содовый завод” - дистиллерной жидкости и шлама с фильтр-пресса с получением гипса, галита, нитрата кальция, нитрата натрия и сульфата магния» (2010-2011 гг.).

**Целью исследования** является разработка научных основ и технологии получения бишофита, сульфата натрия, гидроксида (оксида) магния и хлорида натрия путем комплексной переработки рапы и ССС озер Каракалпакстана и ДЖ.

**Задачи исследования:**

изучение химического и солевого состава, а также физико-химических свойств рапы, ССС и ДЖ;

исследование процессов летнего испарения и зимней садки рапы озер Караумбет и Барсакельмес;

исследование процесса очистки рапы озер Караумбет и Барсакельмес от сульфатных и кальциевых ионов с помощью ДЖ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{BaCl}_2$ ;

исследование процесса концентрирования очищенной рапы озер Караумбет и Барсакельмес методом двух стадийного упаривания с получением кристаллов хлорида натрия и бишофита;

установление оптимальных условий получения гидроксида магния из очищенной рапы озер Караумбет и Барсакельмес;

определение оптимальных параметров процесса приготовления очищенного раствора ССС и получения безводного сульфата натрия;

исследование процесса получения оксида магния из очищенного раствора ССС, содержащего хлориды натрия и магния;

исследование процесса переработки ДЖ на химически осажденный гипс и очищенный рассол хлорида натрия;

разработка технологической схемы, составление материального баланса, проведение технико-экономических расчетов и апробация технологии получения бишофита, сульфата натрия, гидроксида магния, гипса и мела на основе комплексной переработки рапы и ССС озер Караумбет и Барсакельмес и ДЖ Кунградского содового завода;

подготовка нормативно-технической документации для организации производства соединений натрия, магния и кальция на базе рапы и ССС озер Караумбет и Барсакельмес.

**Объектом исследования** является рапа и ССС озер Караумбет и Барсакельмес, ДЖ, кальцинированная сода, сульфат и карбонат кальция, бишофит, хлорид натрия, мирабилит, сульфат натрия, гидроксид и оксид магния.

**Предметом исследования** являются процессы летнего испарения и зимней садки рапы озер Караумбет и Барсакельмес и очистки рапы, ССС и ДЖ от примесей, разработка технологии получения бишофита, гидроксида (оксида) магния и сульфата натрия.

**Методы исследования.** В диссертационной работе использованы методы химического и физико-химического анализа (рентгенографический, термогравиметрический, ИК-спектроскопический).

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

на основе анализа известной системы растворимости  $2\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2} // 2\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  -  $\text{H}_2\text{O}$  определено возможность концентрирования рапы озер в условиях естественного (летнего) испарения и кристаллизации натриевых солей при зимней садке;

обосновано возможность глубокой очистки рапы озер Караумбет и Барсакельмес от сопутствующих примесей с помощью ДЖ, карбоната натрия и хлорида бария, при которых достигается полное удаление кальциевых и сульфатных ионов;

разработан двухстадийный способ упаривания очищенной рапы озер Караумбет и Барсакельмес, обеспечивающий на каждой стадии осаждение кристаллов  $\text{NaCl}$  с чистотой 98% и получение бишофита с содержанием 99,5%  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ;

определено температурные интервалы кристаллизации мирабилита из раствора ССС Караумбет и прокаливания мирабилита с получением сульфата натрия, соответствующего высшему сорту;

определено оптимальные условия процесса получения гидроксида и оксида магния, составы которых отвечают требованиям ГОСТ, путем нейтрализации очищенной рапы и ССС озер Караумбет и Барсакельмес;

разработан способ переработки ДЖ на гипс и чистый рассол хлорида натрия, применяемых для строительства и производства кальцинированной соды;

разработаны технологии получения бишофита, гидроксида (оксида) магния с одновременным извлечением сульфата и хлорида натрия, сульфата и карбоната кальция путем комплексной переработки рапы и ССС озер Караумбет и Барсакельмес, а также ДЖ – крупнотоннажного отхода соды.

**Практические результаты исследования** заключается в следующем:

разработан новый способ очистки рапы озер Караумбет и Барсакельмес от мешающих примесей и двухстадийной их упарки с целью получения чистых кристаллов хлорида натрия и бишофита;

разработана технология переработки рапы озер Караумбет и Барсакельмес на бишофит и гидроксид магния, обеспечивающие потребность сельского хозяйства в импортозамещающих продуктах;

разработана гибкая технологическая схема, позволяющая комплексно перерабатывать смешанные соли Караумбет и ДЖ на сульфат натрия высокой чистоты, оксид магния, сульфат и карбонат кальция, рассол хлорида натрия, предназначенные для моющих средств, сельского хозяйства, строительных материалов и производства кальцинированной соды;

подготовлена нормативно-техническая документация (временный технологический регламент, исходные данные на проектирование) для производства бишофита, сульфата натрия, гидроксида (оксида) магния с дополнительным получением гипса, мела и хлорида натрия на базе комплексной переработки рапы и ССС озер Караумбет и Барсакельмес.

**Достоверность результатов исследования.** Результаты химического и физико-химического анализа подтверждены актами испытаний.

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

Научная значимость результатов исследования определяется тем, что они заложили основу для получения бишофита и гидроксида магния на основе переработки рапы озер Караумбет и Барсакельмес; сульфата натрия высшего сорта, оксида магния с попутным получением гипса, мела и галита на основе комплексной переработки смешанных солей Караумбет; утилизации ДЖ – отхода содового производства на химически осажденный гипс и рассол хлорида натрия.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что переработка рапы и ССС озер Караумбет и Барсакельмес обеспечивает производство хлоратмагниевого дефолианта и неслѣживающейся аммиачной селитры импортозамещающими сырьевыми материалами, такими как бишофит и брусит, а производство моющих средств – сульфатом натрия высшего сорта. Утилизация ДЖ на гипс и хлорида натрия позволяет сократить объемы отходов, улучшить экологическую обстановку региона и снизить себестоимость продукта – кальцинированной соды.

**Внедрение результатов исследования.** На основе полученных научных результатов по разработке технологии переработки рапы и ССС озер Караумбет и Барсакельмес, а также ДЖ на хлористый магний, сульфат натрия, гидроксид (оксид) магния, сульфат и карбонат кальция:

на способы получения сульфата натрия Агентством по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан выдан патент (04470, 2012г.). В результате создана возможность переработки местных солевых отложений сульфатно-хлоридного типа в сульфат натрия высшего сорта – эффективного составляющего различных моющих средств;

технологии комплексной переработки рапы и ССС озер Караумбет и Барсакельмес на соединения магния, натрия и кальция апробированы на АО «Farg’onaazot» (справка АО «Uzkimyosanoat» от 22 мая 2020 года №14-2353). В результате созданы возможности получения хлорида и оксида магния,

сульфата и хлорида натрия, сульфата и карбоната кальция – важных продуктов для народного хозяйства.

технология переработки ДЖ с помощью мирабилита на сульфат кальция и рассол хлорида натрия апробирована на АО «Farg'onaazot» (справка АО «Uzkimyosanoat» от 22 мая 2020 года №14-2353). В результате создана возможность утилизации крупно-тоннажного отхода содового производства и улучшения окружающей среды.

**Апробация результатов исследования.** Результаты данного исследования были доложены и обсуждены на 5 международных и 6 республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликованы 22 научные работы, из них 1 монография, 2 патента РУз на изобретение, 8 научных статей, в том числе 6 в республиканских журналах и 2 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

**Структура и объем диссертации.** Структура диссертации состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, приложений. Объем диссертации составляет 200 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обоснована актуальность и востребованность работы, сформулированы цель и задачи исследования, характеризуются объекты и предмет исследования, показано соответствие приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, излагаются научная новизна и практические результаты, указана степень внедрения результатов в практику, приведены сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Соединения магния и натрия: спрос, применение и способы их получения**» приводится литературный обзор, где описано состояние производства бишофита, гидроксида и оксида магния, сульфата натрия и области их потребления, а также даны характеристики сырьевых материалов. Рассмотрены способы получения хлорида и гидроксида (оксида) магния и сульфата натрия, а также проанализирована изученность систем, обосновывающая получение хлоридов и сульфатов натрия, магния и калия из сульфатно-хлоридных рассолов морского типа. Приведен обзор работ по утилизации отходов содового производства в целевые продукты. Критический анализ комплекса исследований по переработке рассолов соляных озер, морской воды и солевых отложений позволил сформулировать цель и задачи настоящей работы.

Вторая глава «**Естественное концентрирование и очистка рапы озер Караумбет и Барсакельмес от сопутствующих примесей**» относится к

исследованиям процессов летнего испарения и зимней садки рапы озер Караумбет и Барсакельмес, а также их очистке.

В месторождении Караумбет имеется два вида сырья: рапа и ССС. Разведанные запасы рапы, пригодные для освоения по категориям В+С<sub>1</sub>, составляют 1506,3 тыс. т, из них 504,07 тыс. т приходится на галитовые соли и 1002,2 тыс. т на смесь солей хлорида и сульфата магния. Запасы ССС составляют 4009 тыс. т, из них 754 тыс. т NaCl, 2452 тыс. т Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 613 тыс. т MgCl<sub>2</sub> и 4,74% приходятся на остальные компоненты. В них суммарные запасы MgCl<sub>2</sub> составляют 700 тыс. т или 295 тыс. т MgO. Рапа содержит в среднем (вес.%): MgSO<sub>4</sub> – 5,46; MgCl<sub>2</sub> – 5,45; NaCl – 18,36; H<sub>2</sub>O – около 60, а ССС: NaCl – 18,8; Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 61; MgCl<sub>2</sub> – 15,28. ССС можно рассматривать как высохшее образование солей в озере в результате многолетнего испарения воды.

Запасы твердых солей месторождения Барсакельмес по категориям А+В+С<sub>1</sub> утверждены в количестве 131 053 тыс. т (96,32% NaCl), из них 121 202 тыс. т пригодны для производства соды и поваренной соли, а 9851 тыс. т для кормовых целей. Рапа представлена в основном хлоридами и сульфатами натрия и магния, среднее содержание которых составляет: NaCl – 25%, MgCl<sub>2</sub> – 2,3%, MgSO<sub>4</sub> – 2,42% и около 70% H<sub>2</sub>O. Общие запасы солей магния оцениваются в объеме 2470 тыс. т MgCl<sub>2</sub> или 1040 тыс. т MgO. Но их содержание в рапе Барсакельмес в 2-3 раза ниже, чем в рапе Караумбет. Следовательно, высокое содержание NaCl согласуется со справочными данными по системе Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> // SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, Cl<sup>-</sup> – H<sub>2</sub>O.

Как в рапе, так и ССС, кальций и трехвалентные металлы совершенно отсутствуют. По химико-минералогическим и физическим характеристикам рапа (рН = 6-7; ρ = 1,15-1,35 г/см<sup>3</sup>, η = 2-5 сПз, t<sub>кип.</sub> = 102-106°С) пригодна для получения бишофита и оксида магния, а ССС, кроме них, и сульфата натрия.

На основе анализа известной системы растворимости Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> // Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> - H<sub>2</sub>O при различных температурах прогнозирована возможность концентрирования рапы озер Караумбет и Барсакельмес морского типа в условиях естественного (летнего) испарения. Из данных системы вытекает, что если в зимнее время производится отбор рапы, то она содержит больше MgCl<sub>2</sub>, в результате осаждения NaCl·2H<sub>2</sub>O и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·10H<sub>2</sub>O. Таким образом, рассматриваемая система предварительно определяет движущую силу процесса испарения воды из рассолов.

Опыты по летнему испарению (в течение 80 суток) проводили на открытой площадке, близ озера Караумбет, при этом использовали металлические емкости – солнечные пруды, куда залита рапа озер Караумбет и Барсакельмес в объеме 0,424 и 0,546 м<sup>3</sup>, соответственно. За этот период высота и объем рапы Караумбет снизился на 21,3 см и 0,2902 м<sup>3</sup>, а концентрация MgCl<sub>2</sub> повысилась с 6,88 до 17,41%. При этом объем рапы Барсакельмес уменьшился с 0,5646 до 0,2561 м<sup>3</sup>, высота слоя рапы уменьшилась с 40,33 до 18,29 см, а концентрация MgCl<sub>2</sub> повысилась с 3,80 до 17,33%, в результате в осадок выделилось 24,98% NaCl.

Анализ вышеуказанной системы свидетельствует о том, что в условиях зимней садки, то есть при низких температурах, из рапы максимально осаждаются  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Нами изучено влияние температуры на осаждение  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  из рапы озера Караумбет после летней садки  $\text{NaCl}$ . Так, с понижением температуры раствора с  $30^\circ\text{C}$  до  $-10^\circ\text{C}$  содержание  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  уменьшается с 7,26 до 0,54%,  $\text{NaCl}$  с 3,98 до 1,61%, а  $\text{MgCl}_2$  – повышается с 19,69 до 23,31%. Осадок состоит из  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  с примесями  $\text{NaCl}$  и  $\text{MgSO}_4$ . При охлаждении рапы Барсакельмес до  $-5$ – $-10^\circ\text{C}$  содержание  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  снижается до 0,13–0,53%,  $\text{NaCl}$  и  $\text{MgCl}_2$  повышается до 26,20–26,43% и 4,01–4,05%, а выход  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  в твердую фазу до 81,14–95,37%.

Таким образом, путем летней садки  $\text{NaCl}$  и зимней садки  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  в диапазоне температур от  $10^\circ\text{C}$  до  $-5^\circ\text{C}$  из рапы озера Караумбет можно получить растворы с содержанием 22–23%  $\text{MgCl}_2$ , 2–3%  $\text{NaCl}$  и 0,54–4,21%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , пригодных для получения бишофита. А после естественного испарения рапы озера Барсакельмес можно получить растворы, содержащие до 14–17%  $\text{MgCl}_2$ , 7–9%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и 6–7%  $\text{NaCl}$ . Выпадаемые кристаллы  $\text{NaCl}$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  применяются в производстве чистых солей.

Исследован процесс принудительной упарки рапы озер Караумбет и Барсакельмес соответственно до плотности 1,24–1,55 и 1,245–1,288  $\text{г/см}^3$  с последующим охлаждением до  $40^\circ\text{C}$ . Показано, что при концентрировании рапы Караумбет с плотности 1,240  $\text{г/см}^3$  до 1,550  $\text{г/см}^3$  содержание хлорида магния в жидкой фазе повышается от 7,20 до 28,24%, тогда как содержание ионов натрия снижается с 8,05 до 0,91%,  $\text{SO}_4^{-2}$  с 6,66 до 5,63%, а отношение  $\text{Na}:\text{Mg}$  с 2,45 до 0,13 (табл. 1).

**Таблица 1**

**Состав рапы озера Караумбет и Барсакельмес в зависимости от степени упаривания и последующем охлаждении при  $40^\circ\text{C}$**

Плотность, $\text{г/см}^3$	Состав жидкой фазы, вес. %					$\text{Na}^+:\text{Mg}^+$
	$\text{Na}^+$	$\text{Mg}^{+2}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{-2}$	$\text{MgCl}_2$	
рапа озера Караумбет						
1,240	8,05	3,27	17,72	6,66	7,20	2,45
1,295	5,08	3,78	18,45	6,98	15,08	1,37
1,340	4,22	4,39	19,17	6,78	18,97	0,96
1,360	4,39	4,23	20,56	6,67	19,78	1,04
1,400	3,01	4,40	21,43	6,17	22,51	0,68
1,450	1,85	6,42	21,17	5,95	24,51	0,29
1,510	0,93	7,03	20,25	5,31	27,57	0,13
1,550	0,91	7,20	20,13	5,63	28,24	0,13
рапа озера Барсакельмес						
1,245	8,90	2,77	16,9	4,21	10,9	3,21
1,246	6,40	2,97	12,9	4,66	11,6	2,16
1,276	6,20	2,97	15,9	4,68	11,6	2,09
1,290	5,01	3,72	13,9	6,01	14,6	1,35
1,295	4,44	4,46	15,8	7,58	17,5	1,00
1,288	3,38	4,29	15,7	7,69	16,8	0,79

При упарке рапы Барсакельмес от 1,245 до 1,295  $\text{г/см}^3$  содержание хлорида магния повышается с 10,9 до 16,8%,  $\text{SO}_4^{-2}$  - с 4,21 до 7,69%, а

содержание ионов натрия, наоборот снижается с 8,90 до 3,38% и Na : Mg с 3,21 до 0,79, при этом в твердую фазу выпадают кристаллы NaCl.

Необходимо отметить, что снижение температуры до 20°C не оказывает влияния на степень осаждения NaCl. В любом случае в твердой фазе наблюдается появление сульфатных ионов в виде Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и CaSO<sub>4</sub>. По мере концентрирования рапы содержание сульфат-ионов повышается с 0,36% (1,360 г/см<sup>3</sup>) до 3,54% (1,550 г/см<sup>3</sup>).

С технологической точки зрения, выделение хлорида натрия в чистом виде более предпочтительно. Исходя из этого, процесс упаривания рапы проводили в 2 ступени в последовательном порядке. На 1-ой стадии рапа упаривается с 1,245 г/см<sup>3</sup> до 1,36 г/см<sup>3</sup>, а на 2-ой, после выделения осадка NaCl также до 1,36 г/см<sup>3</sup>. После первой стадии упарки в жидкой фазе рапы концентрация MgCl<sub>2</sub> составляет 14-15%, а после второй 19-19,5%. В обеих стадиях выпадает только NaCl с чистотой не менее 98%.

Наличие в составе рапы сульфатных ионов препятствует прямой её переработки на бишофит. Поэтому задачей следующего этапа явилось проведение процесса обессульфачивания рапы озер Караумбет до (6,28% MgCl<sub>2</sub>, 20,37% NaCl, 8,33% MgSO<sub>4</sub>) и после летней садки (17,41% MgCl<sub>2</sub>, 21,37% NaCl, 5,41% MgSO<sub>4</sub>) и Барсакельмес (4,13% MgCl<sub>2</sub>, 23,05% NaCl, 2,54% MgSO<sub>4</sub>) с помощью ДЖ, содержащей 8,41% CaCl<sub>2</sub> и 5,54% NaCl. Процесс изучен в зависимости от нормы ДЖ (от 75 до 110% на связывание SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> в CaSO<sub>4</sub>), продолжительности перемешивания (от 5 до 180 минут) и температуры (от 20 до 60°C). Скорость вращения мешалки – 250 об/мин.

Установлено, что в интервале 5-20 минут обессульфачивание рапы происходит интенсивно, затем резко замедляется. Так, при норме ДЖ – 100% и температуре 20°C через 5 мин степень обессульфачивания рапы Караумбет (после садки) составляет 58,37%, через 20 мин – 88,59%, через 30 мин – 89,8%, через 60 мин – 90,33%, а через 180 мин увеличивается всего на 0,48%. Повышение температуры приводит к снижению степени обессульфачивания. Так, при температурах 20, 40 и 60°C степень обессульфачивания рапы составляет через 5 мин – 58,37; 54,93 и 50,88%, через 30 мин – 89,80; 84,50 и 78,27% и через 60 мин – 90,33; 85,40 и 79,21%, соответственно. Это связано с частичной растворимостью CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O в воде (при 20; 40 и 60°C – 0,206; 0,214; 0,23 г/100г H<sub>2</sub>O). При норме ДЖ более 100%, степень обессульфачивания хотя и повышается, но влечет за собой необходимость очистки рапы от ионов кальция. Найдены условия обессульфачивания: норма ДЖ – 100-105%, время – 20-30 мин. и температура – 20-30 С, при которых обеспечивается 90-92%-ное обессульфачивание рапы (табл. 2).

В зависимости от вида рапы в обессульфаченном при оптимальных условиях растворе, содержание SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> колеблется в пределах 0,189-0,30%. Гипсовая суспензия легко фильтруется, скорость фильтрации гипса составляет 600-800 кг/м<sup>2</sup>·ч по сухому осадку. Для рапы Барсакельмес наблюдаются аналогичные результаты.

С целью глубокой очистки рапы озер от остаточных ионов кальция и сульфатов, которые в различной степени загрязняют состав бишофита и

NaCl, окончательную её обработку осуществляли с помощью Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и BaCl<sub>2</sub>.

**Таблица 2**

**Состав жидкой фазы и степень обессульфачивания рапы озер Караумбет и Барсакельмес в зависимости от нормы дистиллерной жидкости**

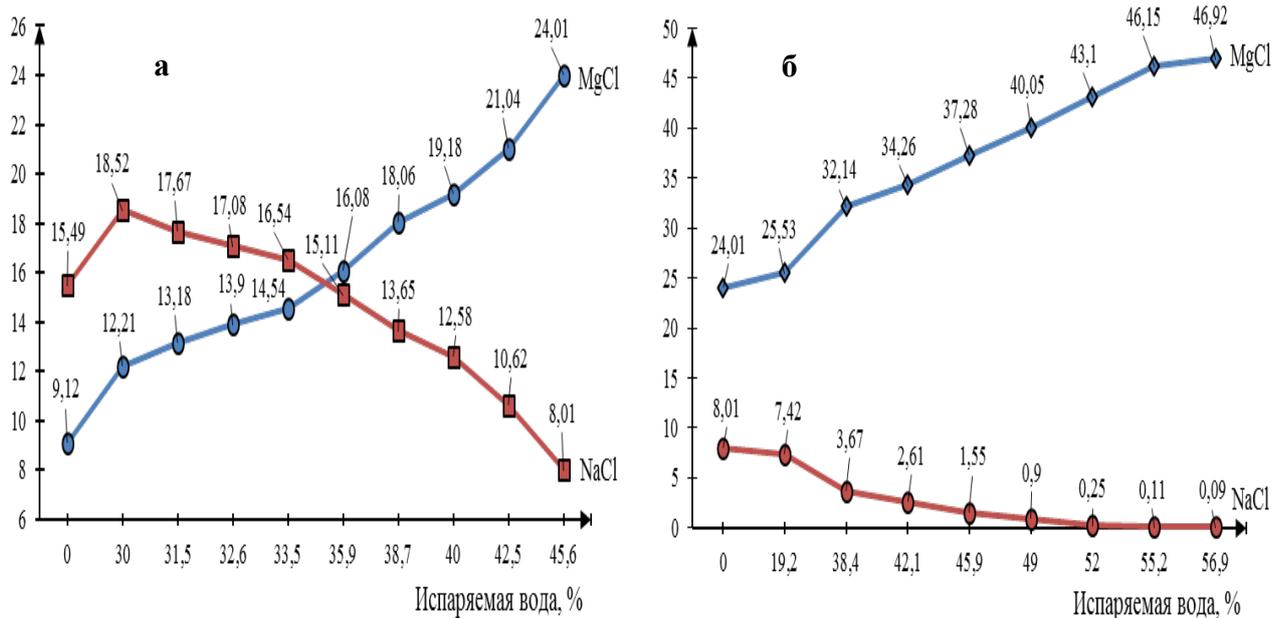
Норма, ДЖ, %	Ионный состав, вес. %					Солевой состав, вес. %				$\gamma_{SO_4^{2-}}$ , % отн.
	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	MgCl <sub>2</sub>	NaCl	CaCl <sub>2</sub>	MgSO <sub>4</sub>	
Рапа озера Караумбет										
75	5,80	1,99	0,15	14,36	1,37	6,51	14,75	0,40	1,71	67,10
90	5,65	1,80	0,13	14,21	1,24	6,69	14,20	0,36	1,22	80,00
100	5,43	1,77	0,12	13,86	0,29	6,72	13,82	0,34	0,36	92,30
105	5,36	1,73	0,15	13,75	0,18	6,66	13,63	0,43	0,23	95,00
110	5,29	1,69	0,21	13,64	0,14	6,54	13,44	0,58	0,18	96,00
Рапа озера Караумбет после летней садки										
75	6,15	4,18	0,30	23,82	1,46	14,94	15,64	0,84	1,83	51,06
90	5,85	3,97	0,21	23,53	0,76	14,35	14,88	0,58	1,53	61,27
100	5,66	3,84	0,13	23,35	0,30	14,75	14,40	0,35	0,37	89,28
105	5,56	3,78	0,15	23,26	0,22	14,60	14,14	0,42	0,28	91,84
110	5,48	3,72	0,19	23,18	0,20	14,39	13,94	0,54	0,24	92,69
Рапа озера Барсакельмес										
75	7,55	1,37	0,26	19,68	1,25	4,13	19,20	0,73	1,56	50,03
90	7,31	1,32	0,06	20,11	0,41	4,77	18,59	0,18	0,51	83,14
100	7,15	1,29	0,10	20,37	0,24	4,82	18,19	0,28	0,30	89,80
105	7,08	1,28	0,13	20,50	0,19	4,83	18,01	0,36	0,24	91,60
110	7,00	1,27	0,17	20,63	0,17	4,81	17,80	0,46	0,21	92,50
125	6,79	1,23	0,28	20,99	0,13	4,68	17,29	0,78	0,17	93,84
150	6,47	1,17	0,46	21,55	0,09	4,51	16,46	1,27	0,11	95,56

Для удаления ионов кальция количество добавляемого Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, варьировало в пределах 7,52-12,53 кг по отношению к 1000 кг рапы, соответствующей 75-125% норме от стехиометрии. При этом температура процесса – 25°С и продолжительность взаимодействия – 15-20 минут.

Очистку от остаточных сульфатов проводили со 100%-ной нормой хлорида бария, при которой степень обессульфачивания достигает 99,5%, а содержание SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> не превышает 0,001%. Таким образом, очищенные от сульфатных и кальциевых ионов растворы пригодны для бишофита, процесс получения чего рассматривается в следующей главе диссертации.

Третья глава «Переработка очищенной рапы озер Караумбет и Барсакельмес на хлористый магний» посвящена разработке технологии получения бишофита. Для этого упарку очищенной рапы состава 9,12% MgCl<sub>2</sub> и 15,49% NaCl проводили при 100°С в 2-х ступенях с промежуточным отделением осадка NaCl при разрежении 40 мм рт. ст.

Показано, что с увеличением количества испаряемой воды от 30 до 45,6% (от 30 до 45,6 кг H<sub>2</sub>O из 100 кг рапы) концентрация хлорида магния в рассоле повышается с исходного 9,12 до 24,01%, а хлорида натрия снижается с 15,49 до 8,01%, в результате его выпадения в осадок (рис. 1-а).



**Рис. 1. Концентрация NaCl и MgCl<sub>2</sub> в рапе после первой (а) и второй (б) стадии упаривания в зависимости от количества испаряемой воды.**

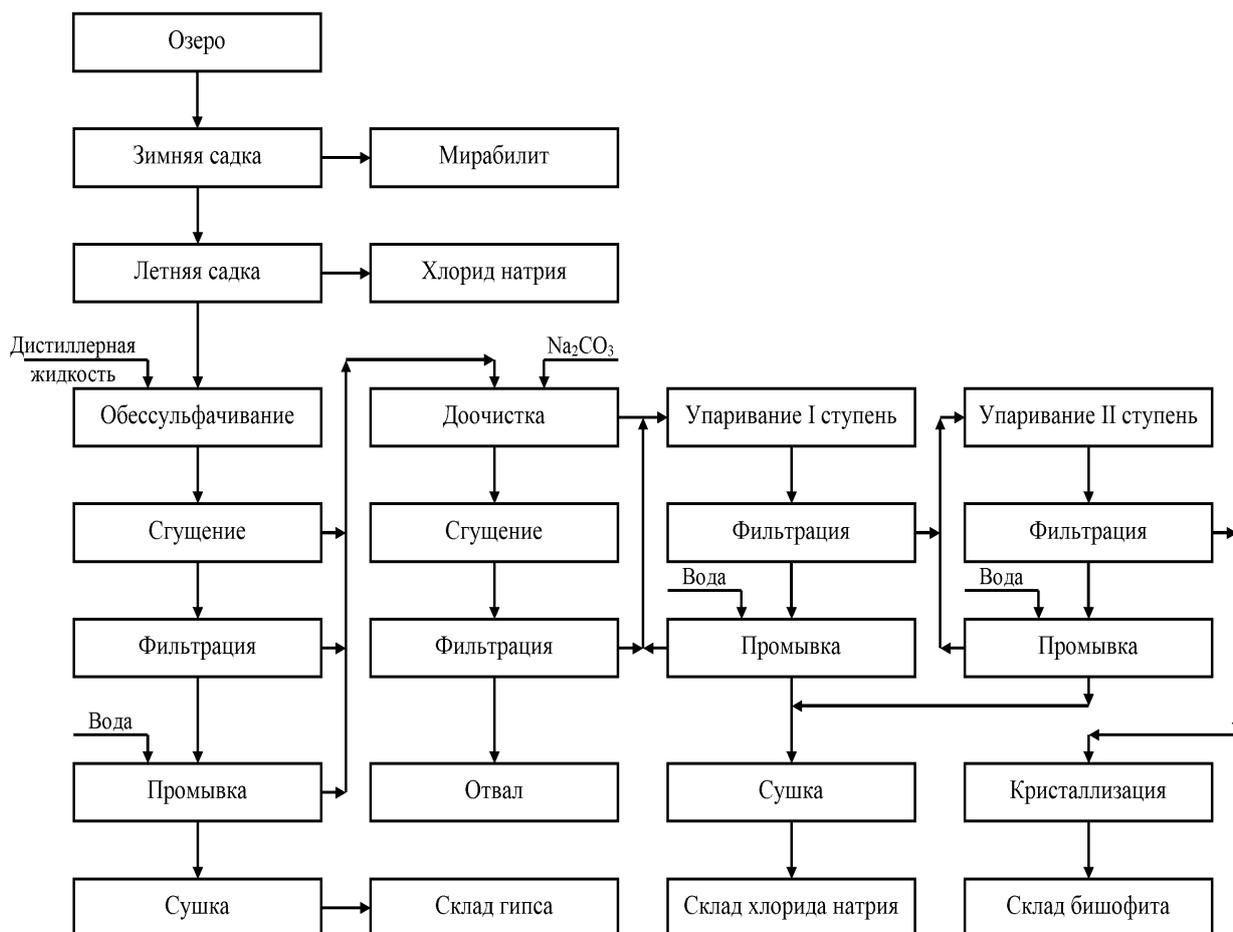
Кристаллизация хлорида натрия связана с разницей растворимости NaCl и MgCl<sub>2</sub> (в 100 г воды растворимость NaCl составляет при 20°С – 35,87 г, 80°С – 38,12 г, MgCl<sub>2</sub> при 20°С – 54,5 г, 100°С – 73,0 г). При этом соотношение Ж:Т в рассоле снижается от 35,6 до 3,9, а плотность, наоборот, повышается от 1,250 до 1,422 кг/см<sup>3</sup>. Дальнейшая упарка рассола ниже Ж:Т = 3,7 и выше 1,45 г/см<sup>3</sup> значительно ухудшает его циркуляцию в выпарном аппарате и транспортировку, а также отделение осадка NaCl.

Поэтому после первой стадии упарки из насыщенного рапы отделяли кристаллы NaCl с помощью вакуум-фильтра, после чего жидкую фазу направляли на 2-ую стадию концентрирования – доупарку. Результаты показывают, что при Ж:Т = 4 : 1 и толщине выпадаемого осадка NaCl - 10,6 мм скорость его фильтрации составляет 4990 кг/м<sup>2</sup>·ч по влажному осадку. Во 2-ой стадии упаривали от 19,2 до 55 кг по отношению к 100 кг рапы или от 19,2 до 55% Н<sub>2</sub>О (рис. 1-б). При этом отношение жидкой к твердой фазе уменьшается от 29,0 до 4,9, а концентрация MgCl<sub>2</sub> повышается с 24,01 до 46,92%. При этом содержание NaCl снижается с 8,01 до 0,11%, а содержание CaCl<sub>2</sub> и MgSO<sub>4</sub> в плаве снижается до минимума (с 0,32 и 0,11% до 0,03 и 0,04%, соответственно). Фильтруемость выпадаемого хлорида натрия по сухому осадку составляет 3811 кг/м<sup>2</sup>·ч. По составу и качеству кристаллы, получаемые как на 1-ой, так и на 2-ой стадиях концентрирования, соответствуют марке «Высший» и отвечают нормам ГОСТ 51574-2000 «Соль поваренная пищевая. Технические условия», где содержание NaCl должно быть не менее 98,4%, а массовая доля кальция, магния, сульфата и калия, н.о. и воды не более 0,35; 0,05; 1,20; 0,10; 0,16 и 0,70%, соответственно.

Далее путем охлаждения плава хлорида магния получены кристаллы, содержащие 0,09% NaCl, 0,03% CaCl<sub>2</sub>, 0,03% MgSO<sub>4</sub>, 46,9% MgCl<sub>2</sub>, что

соответствует 99,6% бишофиту ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ). Индивидуальность вещества подтверждена методами рентгенографии и ИК-спектроскопии. Таким образом, по содержанию примесных компонентов продукт отвечает требованиям ГОСТ 7759-73 «Магний хлористый технический (Бишофит)».

На основе лабораторных опытов разработана технологическая схема и рассчитан материальный баланс процесса получения товарных марок бишофита и хлорида натрия путем очистки рапы озер Караумбет и Барсакельмес дистиллерной жидкостью и карбонатом натрия с последующей двухстадийной упаркой очищенной рапы. На рис. 2 приведена блок-схема комплексной переработки рапы озер Караумбет и Барсакельмес.



**Рис. 2. Блок-схема переработки рапы озера Караумбет и Барсакельмес.**

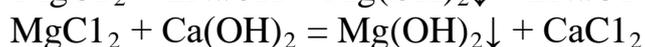
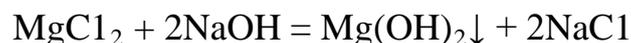
Разработанная технология переработки рапы озер Караумбет и Барсакельмес на бишофит с попутным получением поваренной соли, химически осажденного гипса и мела прошла апробацию на модельной установке АО «Farg’onaazot», имитирующей производственные условия. При этом выпущены опытные партии продуктов.

Технико-экономические расчеты показывают, что себестоимость 1 т бишофита составляет 1 106 663 сум, а привозного бишофита 450 долл. США. При организации производства 15 тыс. т продукта ожидаемая экономическая эффективность составляет 5,53 млрд. сум. При этом дополнительно получается 23 тыс. т  $NaCl$ , 3,3 тыс. т  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  и 0,55 тыс. т  $CaCO_3$ .

Четвертая глава диссертации «Переработка рапы и сухих смешанных солей озер Караумбет и Барсакельмес на сульфат натрия, гидроксид и оксид магния» посвящена разработке технологии получения гидроксида магния из очищенной рапы Караумбет и Барсакельмес, а также технологии получения сульфата натрия и оксида магния на основе комплексной переработки ССС Караумбет.

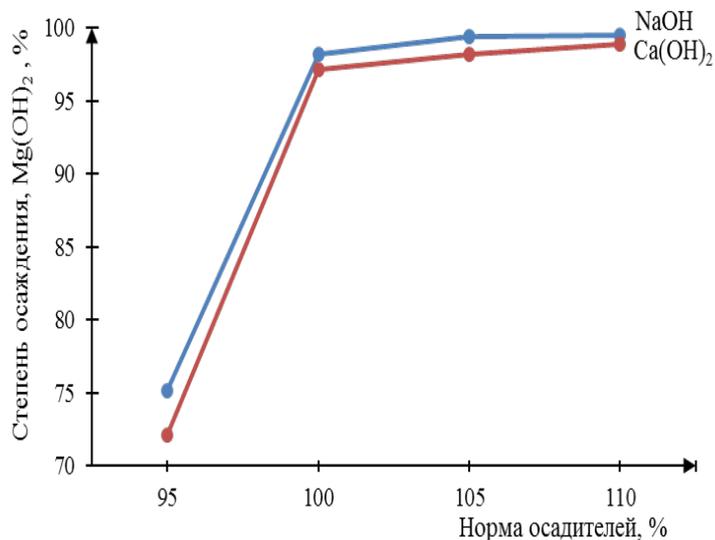
В начальном этапе работы изучен процесс получения гидроксида магния путем нейтрализации очищенной рапы гидроксидами натрия и кальция. Химический состав очищенных растворов рапы Караумбет и Барсакельмес имеет следующие составы (вес.%):  $\text{Na}^+$  - 7,09;  $\text{Mg}^{2+}$  - 2,29;  $\text{Ca}^{2+}$  - 0,12;  $\text{Cl}^-$  - 10,93;  $\text{SO}_4^{2-}$  - 0,06 и  $\text{Na}^+$  - 9,61;  $\text{Mg}^{2+}$  - 1,37;  $\text{Ca}^{2+}$  - 0,13;  $\text{Cl}^-$  - 18,84;  $\text{SO}_4^{2-}$  - 0,070, соответственно. Растворы содержат 8,98%  $\text{MgCl}_2$ , 18,02%  $\text{NaCl}$ , 0,009%  $\text{CaSO}_4$ , 0,35%  $\text{CaCl}_2$  и 5,37%  $\text{MgCl}_2$ , 24,45%  $\text{NaCl}$ , 0,01%  $\text{CaSO}_4$ , 0,36%  $\text{CaCl}_2$ , соответственно.

Норму гидроксидов натрия и кальция варьировали от 95 до 110% от стехиометрии на образование гидроксида магния по нижеприведенным уравнениям:



Процесс взаимодействия компонентов проводили при 25°C в течение 10 мин. со скоростью перемешивания 250 об/мин.

Продолжительность отстаивания ионов магния после реакции – 120 минут. На рис. 3 приведена степень осаждения  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  в зависимости от нормы  $\text{NaOH}$  и  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .



**Рис. 3. Влияние нормы гидроксидов натрия и кальция на степень осаждения магния.**

Из рисунка видно, что чем больше норма осадителя, тем выше степень осаждения  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Оптимальной нормой можно считать 105%, при которой степень осаждения гидроксида магния составляет 99,41% для  $\text{NaOH}$  и 98,15% для  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Гидроксид натрия оказался более эффективным для получения  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . К тому же раствор дополнительно обогащается ионами натрия, что важно для сырьевых

кальцинированной соды.

Изучен процесс фильтрации осадка гидроксида магния в зависимости от температуры пульпы. Чем выше температура, тем лучше фильтруется пульпа. Если при 25°C скорость фильтрации пульпы по сухому остатку составляет 725  $\text{кг}/\text{м}^2\cdot\text{ч}$ , то при 60°C этот показатель повышается до 222  $\text{кг}/\text{м}^2\cdot\text{ч}$ . Отсюда следует, что для эффективного разделения пульпы на

жидкую и твердую фазы необходима относительно высокая температура. После отделения осадка  $Mg(OH)_2$  в жидкой фазе остается чистый рассол  $NaCl$  – качественное сырье для производства соды.

При оптимальной норме  $NaOH$  полученный влажный осадок содержит 31,31%  $Mg^{2+}$ ; 3,52%  $Cl$ ; 0,04%  $SO_4^{2-}$ , 19,98%  $H_2O$ . Его высушивали при  $100^\circ C$  до постоянной массы. По требованиям СТП ТУ КОМП 1-276-10 химический состав гидроксида магния соответствует марке Б (не менее 94%  $Mg(OH)_2$ ).

Для установления его солевого состава было проведено рентгенографическое исследование (рис. 4). Рентгенографический анализ проводили на дифрактометре XRD-6100 (Shimadzu, производства Японии). Применяли  $CuK_\alpha$ -излучение ( $\beta$ -фильтр, Ni, режим тока и напряжения трубки 30 mA и 30 kV) и постоянную скорость вращения детектора  $4^\circ/мин$ . Расшифровку рентгенограммы проводили использованием баз данных «The American Mineralogist crystal structure database». На рентгенограмме четко проявляются интенсивные полосы 4,79; 2,72; 2,36; 1,9; 1,57; 1,49; 1,37 и  $1,31 \text{ \AA}$ , характерные для  $Mg(OH)_2$ .

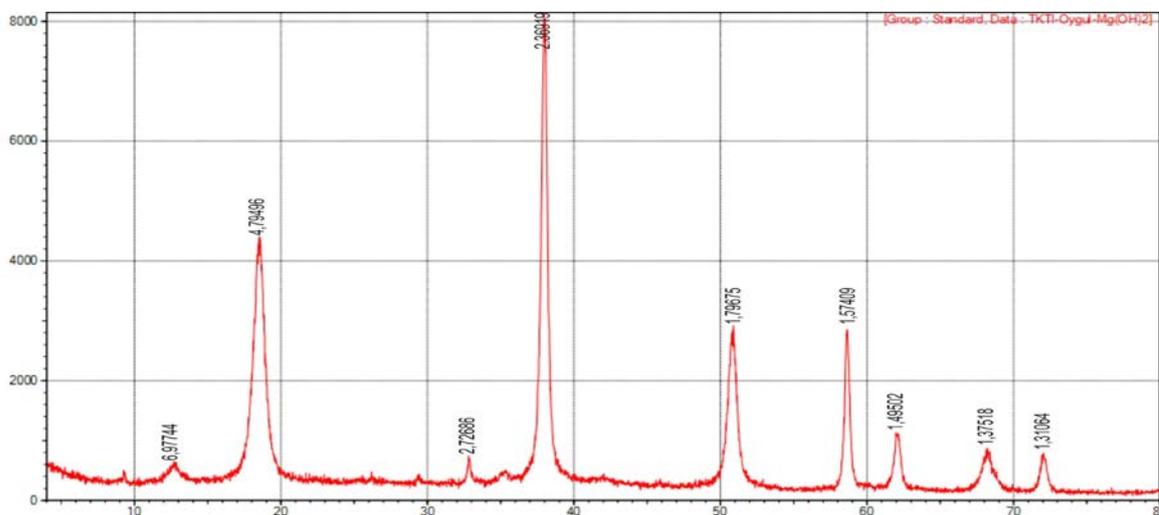
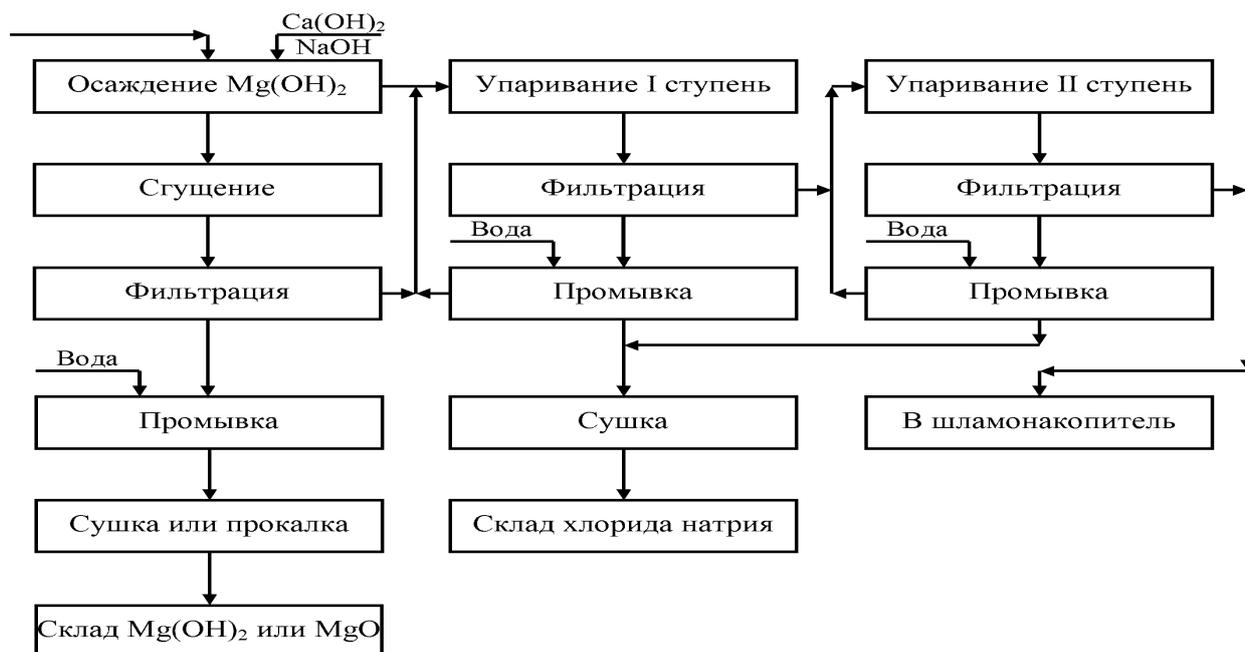


Рис. 4. Рентгенограмма гидроксида магния.

Разработана технологическая схема и рассчитан материальный баланс процесса получения гидроксида магния и хлорид натрия. Предлагаемая технология прошла испытание на модельной установке АО «Farg’onaazot» с выпуском опытных партий продуктов. На рис. 5 представлена блок-схема переработки очищенной рапы озер Караумбет и Барсакельмес на гидроксид магния. Если в качестве осадителя применяется гидроксид натрия, то жидкая фаза состоит из хлорида натрия, а при гидроксиде кальция - из хлоридов натрия и кальция. Первый используется в качестве сырья для соды, а второй - для обессульфачивания рапы.

Расчеты показывают, что при среднерыночной цене технического гидроксида магния 300 долларов США, ожидаемая экономия от производства 10 тыс. т продукта на основе местного сырья составит 1,44 и 4,79 млн. долларов США, соответственно, с применением  $NaOH$  и  $Ca(OH)_2$ . Таким образом, показана возможность получения гидроксида магния и хлорида

натрия из рапы озер Каракалпакстан с приемлемыми технико-экономическими показателями.



**Рис. 5. Блок-схема переработки рапы озер Караумбет и Барсакельмес на гидроксид магния.**

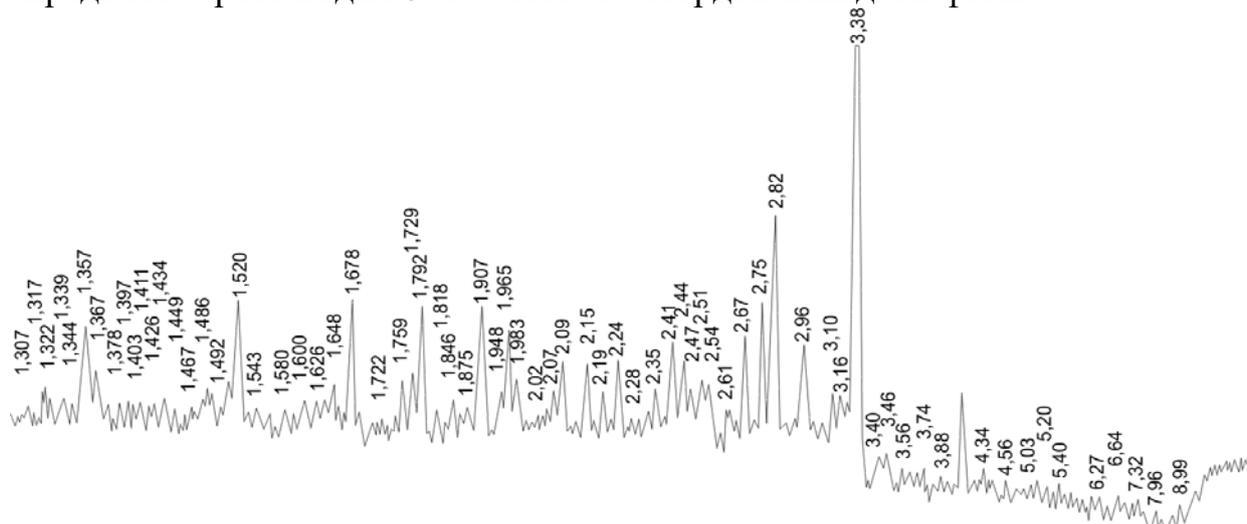
На следующем этапе изучен процесс переработки ССС Караумбет на сульфат натрия высшего сорта – составляющей моющих средств, гидроксид магния – добавки аммиачной селитры и хлорида натрия – сырье кальцинированной соды. Состав ССС колеблется в среднем от 43 до 61%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; от 11 до 15%  $\text{MgCl}_2$ ; от 13 до 19%  $\text{NaCl}$ .

Для экспериментов использовала образец состава (масс. %):  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – 60,69;  $\text{NaCl}$  – 18,81;  $\text{MgCl}_2$  – 15,30;  $\text{MgSO}_4$  – 0,42;  $\text{CaCl}_2$  – 0,31; н.о. - 3,98; остальное –  $\text{H}_2\text{O}$ . Сначала изучен процесс приготовления прозрачного раствора образца путем удаления нерастворимых в воде остатков. При этом установлены оптимальные условия: соотношение Т : Ж = 1 : 3, температура растворения – 25°C, время отстаивания – 15 мин., температура отстаивания и фильтрации - 40°C. При этом степень растворения ССС составляет 93%, степень осветления раствора ССС 94%, скорость фильтрации по сгущенной пульпе 1348 кг/м<sup>2</sup>·ч, а по фильтрату 1177 кг/м<sup>2</sup>·ч. Выбрасываемый при этом нерастворимый остаток содержит 16,01%  $\text{CaO}$ , 1,25%  $\text{MgO}$ , 19,9%  $\text{SO}_3$ , 6,59%  $\text{CO}_2$ , 61,33%  $\text{SiO}_2$  в пересчете на сухую массу и представлен 0,5 и 2- водными формами сульфата кальция – 5,40; 4,28; 2,75; 2,68; 2,47Å и 5,20; 3,40; 3,16; 2,96; 1,79; 1,52; 1,37Å, карбонатом кальция – 3,88; 2,09; 1,91; 1,88Å и оксидом кремния – 3,38; 2,82; 2,44; 2,24; 1,98; 1,43Å (рис. 6).

Полученный таким образом раствор ССС имеет состав (вес.%):  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – 15,31;  $\text{NaCl}$  – 4,74;  $\text{MgCl}_2$  – 3,97;  $\text{MgSO}_4$  – 0,47;  $\text{CaCl}_2$  – 0,36;  $\text{CaSO}_4$  – 0,08.

Так как преобладающим минералом ССС является сульфат натрия (более 60% по отношению к общей массе), задача сводится к выделению кристаллов мирабилита ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) путем вымораживания получаемого

прозрачного раствора. Для этого процесс охлаждения проводили до  $-5^{\circ}\text{C}$ , определяя через каждые  $5^{\circ}\text{C}$  состав его твердой и жидкой фазы.



**Рис. 6. Рентгенограмма нерастворимого в воде остатка из ССС.**

Показано, что чем ниже температура, тем выше выход мирабилита в твердую фазу. Если при  $20^{\circ}\text{C}$  выход  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  составляет 11,69%, то при  $15^{\circ}\text{C}$  этот показатель увеличивается до 31,35%, при  $10^{\circ}\text{C}$  – до 62,9%, при температуре  $5^{\circ}\text{C}$  – до 81,58%, при  $0^{\circ}\text{C}$  – 83,61% и при  $-5^{\circ}\text{C}$  – до 85,43%. В жидкой фазе содержание  $\text{NaCl}$ ;  $\text{MgCl}_2$  и  $\text{CaSO}_4$  увеличивается, соответственно, от 4,94 до 6,68%; от 4,14 до 5,52% и от 0,08 до 0,11%, а  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , наоборот, снижается от 13,52 до 2,51% (табл. 3).

**Таблица 3**  
**Влияние температуры кристаллизации мирабилита на состав растворов сухих смешанных солей**

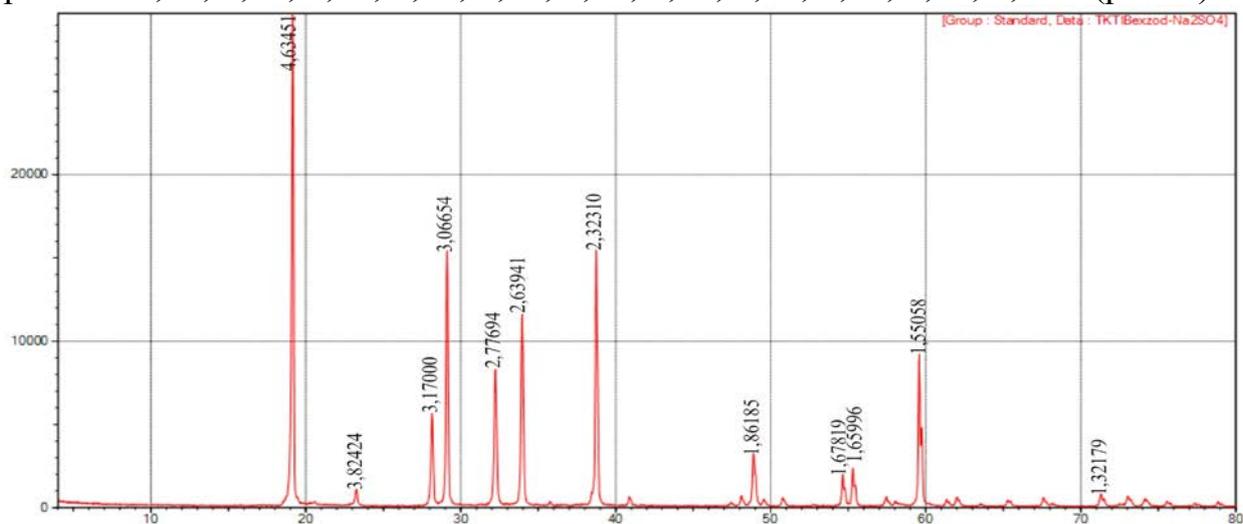
$T_{\text{крист.}}$ , $^{\circ}\text{C}$ .	Химический состав жидкой фазы, %					Солевой состав жидкой фазы, %			
	$\text{Na}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{MgCl}_2$	$\text{NaCl}$	$\text{CaSO}_4$
25	7,92	1,01	0,022	5,83	10,41	15,31	3,97	4,74	0,08
20	6,32	1,06	0,024	6,08	9,19	13,52	4,14	4,94	0,08
15	5,49	1,16	0,026	6,62	7,14	10,51	4,55	5,32	0,09
10	4,22	1,30	0,029	7,46	3,89	5,68	5,08	6,06	0,10
5	3,51	1,41	0,032	8,14	1,96	2,82	5,54	6,61	0,11
0	3,44	1,43	0,032	8,22	1,75	2,51	5,52	6,68	0,11
-5	3,37	1,44	0,032	8,29	1,56	2,23	5,64	6,74	0,11

Для разделения кристаллов  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  получаемую при  $0^{\circ}\text{C}$  пульпу, имеющую плотность  $1,6102 \text{ г/см}^3$ , фильтровали на вакуум-фильтре при остаточном давлении 84 кПа. При этом скорость фильтрации мирабилита составляет  $2460 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$ . Показано, что чем меньше толщина осадка, тем выше производительность фильтрации пульпы.

С целью получения безводного  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  проведен термический анализ осадка мирабилита на дериватографе системы Паулик-Паулик-Эрдей при скорости нагрева 10-12 град./мин., навеске вещества 150-200 мг, чувствительности гальванометров ДТА-1/1, ДТГ-1/50, ТГ-250 в интервале

температур 20-500°C. Согласно результатам анализа, можно полагать, что мирабилит инконгруэнтно плавится в собственной кристаллизационной воде, чему соответствовал эндотермический эффект, наблюдаемый при 33°C. Начиная с 70°C происходит удаление воды, а с 101-102°C - кипение раствора. Интенсивное удаление воды наблюдается в интервале 101-113°C, полное удаление воды и образование Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> происходит при 200-205°C.

Основываясь на результаты термического анализа, образец мирабилита была высушен при 200-205°C, в результате чего получен продукт с содержанием Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> не менее 99%, соответствующий высшему сорту (по ГОСТ 5644-75). На дифрактограмме наиболее интенсивными и характерными определены рефлексы сульфата натрия со значением d, равным 4,64; 3,83; 3,17; 3,07; 2,78; 2,64; 2,32; 1,86; 1,68; 1,66; 1,55 Å (рис. 7).



**Рис. 7. Рентгенограмма сульфата натрия.**

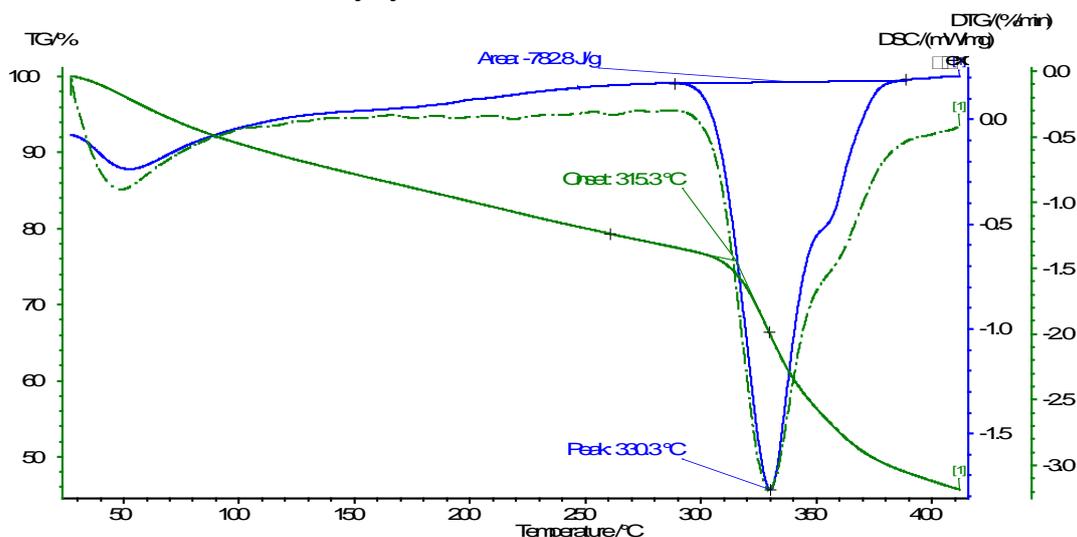
Рассчитан материальный баланс и предложена технологическая схема процесса выделения сульфата натрия из ССС Караумбет.

Как показывают данные табл. 3, после выделения мирабилита из раствора ССС при 0°C остается жидкая фаза состава (вес. %): Na<sup>+</sup> – 3,44; Mg<sup>2+</sup> – 1,43; Ca<sup>2+</sup> – 0,032; Cl<sup>-</sup> – 8,22; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – 1,75 или Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 2,51; NaCl – 6,68; MgCl<sub>2</sub> – 5,52 и CaSO<sub>4</sub> – 0,11. Ввиду остаточного количества сульфатов перед переработкой на гидроксид магния жидкую фазу подвергли обессульфачиванию с помощью 100 %-ной нормы ДЖ. В результате получен очищенный раствор, содержащий 8,84% NaCl и 6,39% MgCl<sub>2</sub>, со степенью обессульфачивания не менее 86%. В нем отсутствует Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, а содержание CaSO<sub>4</sub> составляет всего 0,34%, что соответствует его растворимости в водных растворах, при этом выпадаемый в осадок двуводный сульфат кальция легко фильтруется.

С целью переработки обессульфаченного раствора на гидроксид магния осуществлен процесс его нейтрализации с помощью NaOH и Ca(OH)<sub>2</sub>. Опыты по осаждению Mg(OH)<sub>2</sub> проводили при 25°C в течение 10 минут и постоянном перемешивании. Норму расхода осадителей контролировали по изменению рН среды суспензий и содержанию иона Mg<sup>2+</sup> в осадке.

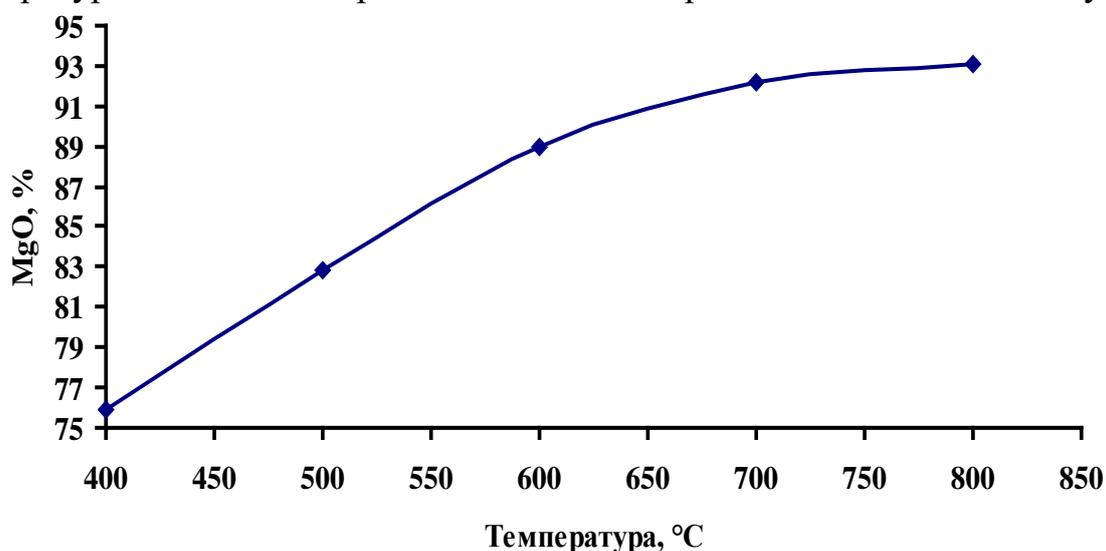
Установлено, что при нейтрализации раствора гидроксидом натрия до pH = 11, соответствующей его норме 100-105% степень осаждения гидроксида магния составляет 99%. Выпадаемый при этом осадок отделяли методом центрифугирования и высушивали при 100°C. Рентгенограмма осадка из ССС показывает, что его солевой состав очень близок составу гидроксида магния, полученного из рапы (рис. 4).

Заключительным этапом исследований явился термический обжиг гидроксида магния с получением оксида магния. Из дериватограммы хорошо видно (рис. 8), что для образования MgO необходима температура обработки не менее 410°C. При этом начало процесса гидратации Mg(OH)<sub>2</sub> приходится на 315,3°C, окончание гидратации - на 410°C. Максимальная скорость потери влаги составляет 3% в минуту.



**Рис. 8. Дериватограмма гидроксида магния.**

В лабораторных условиях опыты по термообработке гидроксида магния проводили при температуре от 400 до 800°C. Рис. 9 позволяет сделать вывод о том, что оптимальными условиями образования оксида магния являются: температура 700-800°C и продолжительность прокалики не менее 60 минут.



**Рис. 9. Влияние температуры прокалики на содержание**

### **оксида магния в течение 60 минут.**

По качеству синтезируемый MgO отвечает требованиям, предъявляемым ГОСТ 844-79. Содержание иона  $Mg^{2+}$  в нем составляет 58,8%, а основного вещества MgO не менее 94%.

На основе проведенных исследований разработана технологическая схема (рис. 10), позволяющая комплексно перерабатывать ССС Караумбет в продукты, востребованные химической промышленностью.

На модельной установке АО «Farg'onaazot» проведены испытания технологии переработки ССС на оксид магния с попутным извлечением сульфата и хлорида натрия, гипса и мела. Рассчитаны расходные коэффициенты сырьевых и промежуточных продуктов, а также основные нормы технологического режима для производства 1 тонны  $Mg(OH)_2$  с промежуточным получением 11,99 т  $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$  или 4,72 т  $Na_2SO_4$ , 1,05 т  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ , 0,15 т  $CaCO_3$ , 45,95 т раствора или 8,27 т твердого NaCl. Для них потребуются 10,71 т ССС, 32,13 т воды, 16,52 т ДЖ и 1,38 т NaOH.

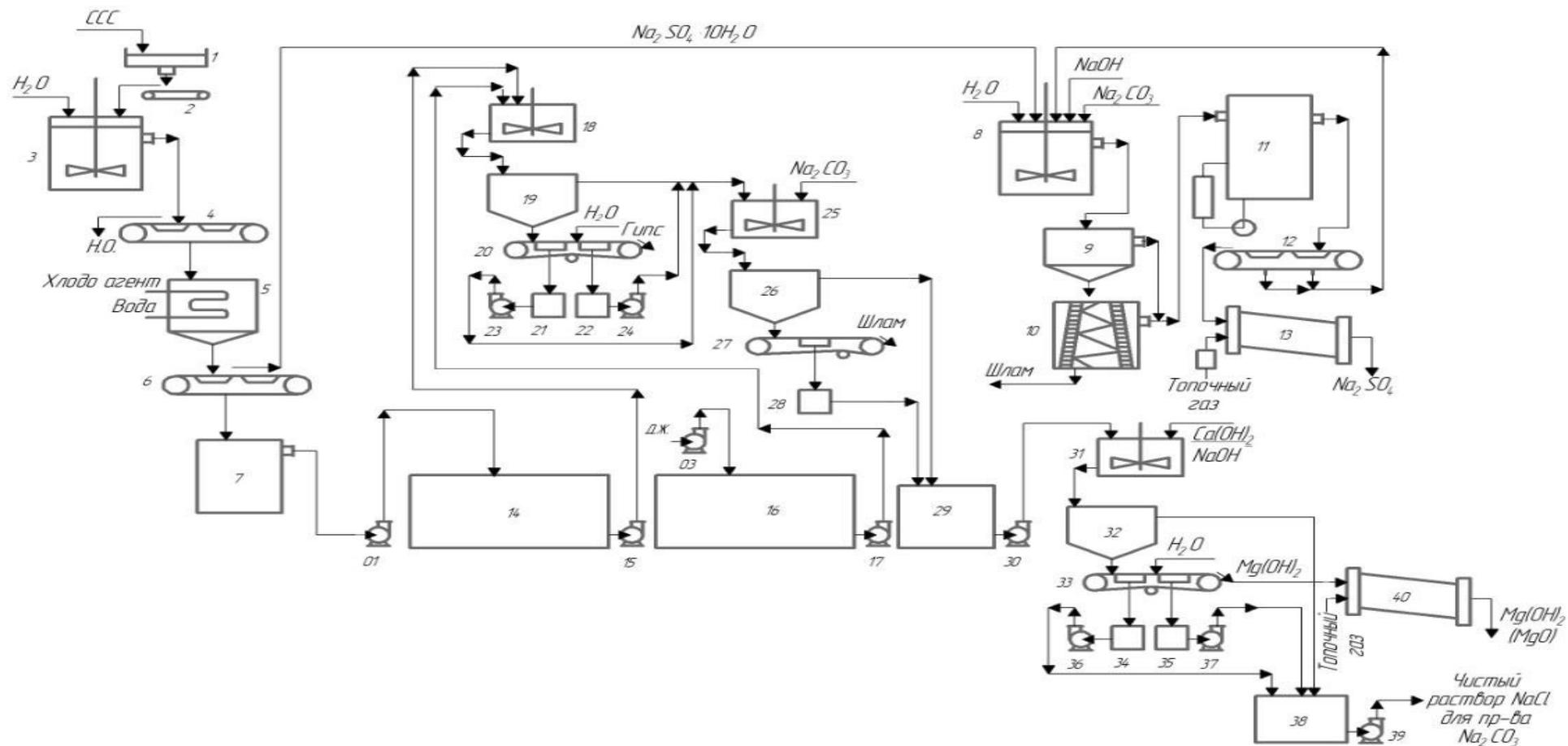
Расчеты материального баланса показывают, что при комплексной переработке 10,71 т ССС Караумбета на 1 т гидроксида магния дополнительно получается 4,718 т сульфата натрия высшего сорта, 1,05 т гипса, 0,15 т мела, 8,27 т хлорида натрия, а также 39,05 м<sup>3</sup> очищенной воды, которая используется при подготовке рассола NaCl. При производстве 10 000 т гидроксида магния суммарная экономическая эффективность составит 54,26 млрд. сум.

В пятой главе «**Утилизация дистиллерной жидкости – отхода содового производства с применением рапы и сухих смешанных солей Караумбет**» приведены результаты процесса очистки ДЖ от ионов кальция с помощью сульфатных ионов в виде 20 %-ных растворов мирабилита, рапы и ССС. Норму осаждающих реагентов рассчитывали на реакции взаимодействия между  $SO_4^{2-}$  -анионом и  $Ca^{2+}$  -катионом с образованием дигидрата  $CaSO_4$  и NaCl. В опытах переменными параметрами были: норма  $Na_2SO_4$  (75; 90; 100; 105; 110; 125; 150% от стехиометрии), температура (20; 40; 60°C) и продолжительность (5; 10; 15; 20; 30; 60; 180 минут), а постоянным параметром - скорость вращения мешалки – 250 об/мин. В процессе декальцинации ДЖ образуется химически осажденный гипс и очищенный раствор хлорида натрия. Последний в свою очередь возвращают в производство кальцинированной соды. Следует отметить, что при применении рапы и ССС в растворе, наряду с NaCl, будет присутствовать  $MgCl_2$ . Поэтому его подвергает нейтрализации гидроксидом натрия для получения гидроксида магния.

На основе проведенных опытов установлены оптимальные условия очистки ДЖ: норма сульфатных ионов – 100%, температура реакции - 20°C и продолжительность перемешивания – 30 минут.

Выбор 100%-ной нормы определяется тем, что при меньшей снижается эффективность очистки ДЖ от ионов кальция, а при высокой в растворе хлорида натрия появляются остаточные ионы  $SO_4^{2-}$ . с Увеличение времени

выше 30 минут не приводит к существенному повышению степени очистки ДЖ от ионов кальция. При продолжительности обработки менее 30 минут



**Рис. 10. Технологическая схема комплексной переработки сухих смешанных солей Караумбет на сульфат натрия, гипса, мела и гидроксида (оксида) магния:**

1 – бункер; 2 – дозатор; 3 – реактор для растворения; 4, 6, 12, 20, 27, 33 – вакуум-фильтры; 5 – кристаллизатор; 7, 14 – емкость для раствора хлоридов Na и Mg; 8 – реактор для растворения и очистки мирабилита; 9, 19, 26, 32 – конические отстойник-сгустители; 10 – центрифуга; 11 – выпарной аппарат; 13 – сушильный барабан; 15, 17, 23, 24, 30, 36, 37, 39 – центробежные насосы; 16 – емкость для дистиллерной жидкости; 18 – реактор обессульфачивания; 21, 28, 36 – сборники основных фильтратов; 22, 35 – сборники промывных вод; 25 – реактор доочистки; 29 – сборник для раствора хлоридов Na и Mg; 31 – реактор-осадитель; 38 – сборник раствора хлорида натрия; 40 – сушильный барабан.

не происходит достаточного осаждения дигидрата сульфата кальция. Повышение температуры процесса от 25 до 60<sup>0</sup>С приводит к снижению степени декальцинации ДЖ, что связано с увеличением растворимости CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O в водном растворе хлорида натрия.

Таким образом, при найденных оптимальных условиях солевой состав очищенной ДЖ имеет: в случае использования мирабилита – 0,018% MgCl<sub>2</sub>, 10,60% NaCl, 0,31% CaCl<sub>2</sub>, со степенью декальцинации 96,37%, рапы – 15,36% NaCl, 7,14% MgCl<sub>2</sub>, 0,44% CaSO<sub>4</sub>, со степенью декальцинации 94,71% и ССС – 8,85% NaCl, 2,37% MgCl<sub>2</sub> и 0,27% CaSO<sub>4</sub>, со степенью декальцинации 96,3%. При этом скорость фильтрации осадков гипса составляет не менее 600-800 кг/м<sup>2</sup>·ч по сухому осадку.

С целью глубокой очистки ДЖ от остаточных ионов кальция предлагается провести её обработку с помощью карбоната натрия. При нём обеспечивается 100 %-ная декальцинация ДЖ, а осаждение мела протекает достаточно быстро. Скорость его фильтрации составляет не менее 500-700 кг/м<sup>2</sup>·ч по сухому осадку. Высушенные образцы как гипса, так и мела, можно использовать в качестве вяжущих материалов.

Предложена принципиальная технологическая схема и рассчитан материальный баланс процесса очистки ДЖ с применением как мирабилита, рапы, так и ССС. Результаты показали, что при применении растворов рапы и ССС в очищенном растворе хлорида натрия появляются ионы магния, что требует дополнительной стадии их переработки на соединения магния.

На опытной установке АО «Fargonaazot» проведены испытания технологии очистки ДЖ из производства УП «Кунградский содовый завод» с помощью мирабилита. Выпускаемый при этом очищенный раствор NaCl состава (вес. %): Ca<sup>2+</sup> - отс., Mg<sup>2+</sup> - 0,003; Na<sup>+</sup> - 5,99; Cl<sup>-</sup> - 9,24; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> - 0,10 вполне подходит в качестве сырья для производства соды. А образующийся осадок дигидрата сульфата кальция по своему химическому составу соответствует чистому гипсу, и может применяться в качестве строительного материала или для других целей.

Технико-экономические расчеты показывают, что при переработке 100 тыс. т ДЖ с получением 14,1 тыс. т осажженного гипса и 123,5 тыс. т рассола (19,5% NaCl) либо 24,1 тыс. т поваренной соли, годовая прибыль составляет 2,38 млрд. сум. Вместе с хлоридом натрия в производство соды возвращается очищенная вода, а её стоимость 1,0 м<sup>3</sup> составляет в среднем 2500 сум. Таким образом, проведенные расчеты указывает на высокую эффективность технологии очистки ДЖ с помощью солей Караумбет.

На основе научных и технологических исследований разработана нормативно-техническая документация (временный технологический регламент, исходные данные для проектирования) для организации производства бишофита, сульфата натрия, гидроксида (оксида) магния с попутным получением гипса, мела и поваренной соли на базе комплексной переработки рапы и ССС озер Караумбет и Барсакельмес по замкнутому циклу. Технологии являются безотходными, частично утилизируют крупнотоннажный отход соды – ДЖ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов научно-практических исследований по теме диссертационной работы сформулированы следующие выводы:

1. Определен химико-минералогический состав рапы озер Караумбет и Барсакельмес морского типа – сырья для получения бишофита, гидроксида (оксида) магния и поваренной соли. Изучены процессы концентрирования рапы в условиях естественного (летнего) испарения и зимней садки. Предложена 2-х стадийная выпарка рапы, на первой плотности исходной рапы повышают с 1,245 до 1,38 г/см<sup>3</sup>, а на второй, после отделения осадка NaCl, до 1,35 г/см<sup>3</sup>. С целью получения наиболее чистого NaCl на обеих стадиях необходимо провести процесс очистки рапы от сульфатных ионов.

2. Найдены оптимальные условия обессульфачивания рапы с помощью дистиллерной жидкости: норма ДЖ – 105%, время перемешивания – 30 мин и температура процесса – 20 С, при которых содержание сульфатных ионов в рапе снижается с 2,34-6,66% до 0,29-0,85%. Гипсовая суспензия легко фильтруется (600-800 кг/м<sup>2</sup>·ч по сульфату кальция). Для удаления остаточных ионов кальция необходима 105 %-ная норма Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (400-500 кг/м<sup>2</sup>·ч по карбонату кальция). Хлорид бария обеспечивает 99,5 %-ное удаление сульфатных ионов, при этом содержание SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> снижается до 0,001%.

3. Изучен процесс получения бишофита путем 2-х этапной упарки очищенной рапы, содержащей 9% MgCl<sub>2</sub> и 15,5% NaCl. При каждом этапе осаждаются кристаллы NaCl с чистотой не менее 98%. На первой стадии концентрация MgCl<sub>2</sub> в жидкой фазе повышается до 24%, а на второй - до 46,9%, что соответствует гексагидрату хлорида магния. Себестоимость 1 т продукта составляет 1 106 663 сум, а привозного бишофита – 450 долл. США. При производстве 15 тыс. т бишофита экономическая эффективность составит 5,53 млрд. сум. При этом дополнительно получается 23 тыс. т NaCl, 3,3 тыс. т CaSO<sub>4</sub> и 0,55 тыс. т CaCO<sub>3</sub>.

4. Изучен процесс получения гидроксида магния и хлорида натрия из очищенной рапы озер Караумбет и Барсакельмес. Найдена оптимальная норма щелочных реагентов – 105%, при которой степень осаждения гидроксида магния составляет 99,41 и 98,15%, соответственно, для NaOH и Ca(OH)<sub>2</sub>. Высушенный осадок соответствует марке Б (94% Mg(OH)<sub>2</sub>). При рыночной цене технического гидроксида магния 300 долл. США ожидаемая экономическая эффективность от производства 10 тыс. т продукта составит 1,44 и 4,79 млн. долларов США, соответственно, при применении NaOH и Ca(OH)<sub>2</sub>. При этом получаемый чистый раствор NaCl возвращается в производство кальцинированной соды.

5. Изучен процесс комплексной переработки сухих смешанных солей (ССС) Караумбет на сульфат натрия и оксид магния с получением гипса, мела и чистого раствора NaCl. При этом установлены условия подготовки прозрачного раствора ССС: Т : Ж = 1 : 3, температура растворения – 25°С, время отстаивания нерастворимого в воде остатка – 15 мин., температура

отстаивания и фильтрации – 40°C. Прозрачный раствор содержит (вес.%):  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – 15,31;  $\text{NaCl}$  – 4,74;  $\text{MgCl}_2$  – 3,97. Сначала путем вымораживания до 0-5°C из раствора выделяют кристаллы мирабилита, затем путем термической их обработки при 200-210°C получают сухой  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , соответствующий высшему сорту (по ГОСТ 6318-77).

6. Изучен процесс очистки прозрачного раствора (состава 2,51%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; 6,68%  $\text{NaCl}$ ; 5,52%  $\text{MgCl}_2$ ) после процесса отделения мирабилита, при этом применены ДЖ и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Нейтрализация очищенного раствора до pH = 10,5-11 гидроксидами натрия и кальция позволила получить чистый  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Оптимальной температурой и времени прокаливания  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  являются 700-800°C и 120 минут, при которых получается продукт с содержанием не менее 94%  $\text{MgO}$ . При комплексной переработке ССС на 1 т гидроксида магния дополнительно получается 4,718 т сульфата натрия, 1,05 т гипса, 0,15 т мела, 8,27 т хлорида натрия. При производстве в год 10 000 т гидроксида магния общая экономическая эффективность составит 54,26 млрд. сум.

7. Изучен процесс переработки ДЖ (5,55%  $\text{NaCl}$ , 8,41%  $\text{CaCl}_2$ ) на осажженный гипс и рассол  $\text{NaCl}$  с применением ССС и мирабилита. Установлены оптимальные условия декальцинации: норма сульфатных ионов – 100-102%; температура – 20°C и время – 30 минут, при которых осаждается 96,37% ионов кальция и получается очищенный раствор  $\text{NaCl}$ . Показано, что при переработке 100 тыс. т ДЖ с получением 14,1 тыс. т осажженного гипса и 123,5 тыс. т рассола  $\text{NaCl}$  годовая прибыль составит 2,38 млрд. сум.

8. Предложены технологические схемы и нормы технологических режимов и рассчитаны материальные потоки, позволяющие комплексно перерабатывать смешанные соли озер Караумбет и Барсакельмес. На модельной установке АО «Farg'onaazot» проведены испытания технологии получения бишофита, гидроксида (оксида) магния и сульфата натрия путем комплексной переработки рапы и ССС озер Караумбет и Барсакельмес.

9. Разработаны нормативно-технические документы (временный технологический регламент, исходные данные) для производства бишофита, сульфата натрия, гидроксида (оксида) магния с попутным получением гипса, мела и хлорида натрия на основе рапы и ССС озер Караумбет и Барсакельмес по замкнутому циклу. Технологии являются безотходными и отчасти снижают объемы крупнотоннажного отхода – ДЖ.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING OF SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.02/30.12.2019.K/T.35.01 AT INSTITUTE OF GENERAL AND  
INORGANIC CHEMISTRY**

---

**TASHKENT CHEMICAL-TECHNOLOGICAL INSTITUTE  
FERGANA POLYTECHNICAL INSTITUTE**

**TOJIEV RUSTAMBEK RASULOVICH**

**DEVELOPMENT TO TECHNOLOGIES OF THE COMPLEX  
PROCESSING RAW MATERIALS RESOURCE LAKE KARAUMBET  
AND BARSAKELMES ON BISCHOFITE, HYDROXIDE AND OXIDE  
MAGNESIUMS AND SULPHATE SODIUM**

**02.00.13 - Technology of inorganic substances and materials on their basis**

**DISSERTATION ABSTRACT FOR THE DOCTOR (DSc)  
TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent – 2020**

**Doctoral thesis theme has been registered under number B2019.3.DSc/K72 at the Higher Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan.**

Doctoral dissertation has been carried out at the Tashkent Chemical-Chemical Technology Institute and Fergana Politechnical Institute.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian and English (resume)) is placed on web-page to address [www.tcti.uz](http://www.tcti.uz) and Information-educational portal of «ZiyoNet» to the address [www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz).

**Scientific consultant:**

**Mirzakulov Kholtura Chorievich**  
doctor of technical science, professor

**Official opponents:**

**Namazov Shafolat Sattarovich**  
doctor of technical sciences, professor, academician

**Reymov Axmed Mambetkarimovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Sultonov Bakhodir Erkinovich**  
Doctor of technical sciences

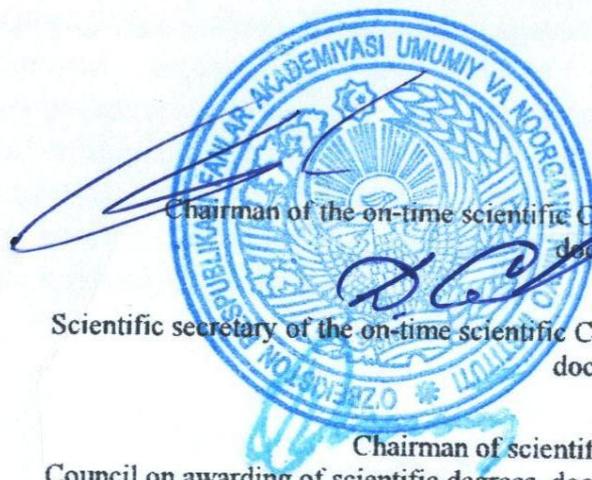
**Leading organization:**

**Namangan Engineer-Technological Institute**

The defense will take place “22” “july” 2020 at “14<sup>00</sup>” o’clock at the meeting of on-time scientific Council No.DSc.02/30.12.2019.K/T.35.01 at General and Inorganic Chemistry Institute (Address: 100170, Tashkent city, Mirzo Ulug’bek district, Mirzo Ulug’bek street, 77-a. Tel.: (+99 871) 262-56-60, fax: (+99 871) 262-79-90, e-mail: [ionxanruz@mail.ru](mailto:ionxanruz@mail.ru)).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of the General and Inorganic Chemistry, (is registered under № \_\_\_\_\_). Address: 100170, Tashkent city, Mirzo Ulug’bek street, 77-a. Tel./fax: (+99871) 262-56-60, (+99871) 262-79-90).

Abstract of dissertation sent out on “17” july 2020 y.  
(mailing report № \_\_\_\_\_ from “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2020 y.)



**B.S. Zakirov**  
Chairman of the on-time scientific Council awarding scientific degrees,  
doctor of chemical sciences, professor

**D.S. Salikhanova**  
Scientific secretary of the on-time scientific Council awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor

**S.A. Abdurakhimov**  
Chairman of scientific seminar at the on-time scientific  
Council on awarding of scientific degrees, doctor of technical sciences, professor.

## INTRODUCTION (abstract of DSc dissertation)

**The aim of the research work:** is the development of scientific bases and technology for obtaining bischofite, sodium sulfate, magnesium hydroxide (oxide) and sodium chloride by complex processing of brine and dry mixed salts of Karakalpakstan lakes and distiller liquid.

**The object of the research work:** brine and dry mixed salts of lakes Karaumbet and Barsakelmes, distiller's liquid, soda ash, calcium sulfate and carbonate, bischofite, sodium chloride, mirabilite, sodium sulfate, hydroxide and magnesium oxide.

**The scientific novelty of the dissertation research** consists is as follows:

based on the analysis of the known solubility system of  $2\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}/2\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}-\text{H}_2\text{O}$ , the possibility of concentrating lake brine in the conditions of natural (summer) evaporation and crystallization of sodium salts during winter precipitation is predicted;

the possibility of deep cleaning of the brine of the lakes Karaumbet and Barsakelmes from accompanying impurities with the help of a distiller's liquid, sodium carbonate and barium chloride, in which the complete removal of calcium and sulfate ions is achieved;

the two-stage method for evaporation of purified brine from Karaumbet and Barsakelmes lakes has been developed, which provides for the deposition of NaCl crystals with a purity of 98% at each stage and the production of bischofite with a content of 99,5%  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ;

the temperature intervals of crystallization of mirabilite from a solution of dry mixed salts Karaumbet and calcination of mirabilite to produce sodium sulfate corresponding to the highest grade are established;

the optimal conditions for the production of hydroxide and magnesium oxide, whose compositions meet the requirements of GOST, were found by neutralization of purified brine and dry mixed salts of lakes Karaumbet and Barsakelmes;

the method for processing distiller liquid into gypsum and pure sodium chloride brine used for construction and production of soda ash is proposed;

the technologies have been developed for the production of bischofite, magnesium hydroxide (oxide) with the simultaneous extraction of sodium sulfate and sodium chloride, calcium sulfate and carbonate through the integrated processing of brine and dry mixed salts of Karaumbet and Barsakelmes lakes, as well as distillation liquid - large-capacity soda waste.

**Implementation of the research results.** Based on the obtained scientific results on the development of technology for processing brine and mixed salts of lakes Karaumbet and Barsakelmes, as well as distiller liquid for magnesium chloride, sodium sulfate, magnesium hydroxide (oxide), calcium sulfate and carbonate:

the patent of Agency on intellectual property of the Republic of Uzbekistan has issued obtaining sodium sulfate (IAP 04470, 2012 year). As a result, it is possible to process local salt deposits of the sulfate-chloride type into high-grade sodium sulfate – an effective component of various detergents;

technologies for complex processing of brine and dry mixed salts of lakes Karaumbet and Barsakelmes for magnesium, sodium and calcium compounds have been tested at JSC «Farg'onaazot» (reference of JSC «O'zkiyosanoat» dated may 22, 2020 No. 14-2353). As a result, it is possible to obtain magnesium chloride and oxide, sodium sulfate and chloride, calcium sulfate and carbonate – important products for the national economy.

the technology of processing distiller liquid using mirabilite for calcium sulfate and sodium chloride brine has been tested at JSC «Farg'onaazot» (reference of JSC «O'zkiyosanoat» dated may 22, 2020 No. 14-2353). As a result, it is possible to dispose of large-capacity waste and improve the environment.

**The structure and volume of the dissertation.** The thesis consists of an introduction, five chapters, conclusion, list of references and applications. The volume of the thesis is 200 pages.

## ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ

Список опубликованных работ

List of published works

I бўлим (I часть; part I)

1. Х.Ч. Мирзакулов, Р.Р. Тожиев, О.С. Бобокулова. «Комплексная переработка минерально-сырьевых ресурсов озер Караумбет и Барсакельмес». // Монография. Ташкент, 2020. С. 194.
2. Бобокулова О.С., Тожиев Р.Р., Усманов И.И., Мирзакулов Х.Ч. Разработка технологии производства гидроксида и оксида магния из рапы озер Караумбет и Барсакельмес // Химическая промышленность. – Санкт-Петербург, 2015. – т. 92. №6. - С. 272-279. (02.00.00 № 21).
3. Мирзакулов Х.Ч., Тожиев Р.Р., Бобокулова О.С. Технология комплексной переработки рапы озер Караумбет и Барсакельмес на хлористый магний // Научно-технический и производственный журнал горный вестник Узбекистана. – Навои, 2018. - № 2 (73). –С.101-105. (05.00.00.,№7)
4. Бобокулова О.С., Мирзакулов Х.Ч., Тожиев Р.Р., Усманов И.И., Мамаджанов З.Н. Исследование процесса получения очищенных от кальция растворов дистеллерной жидкости. // Научно-технический журнал ФерПИ. - Фергана, 2019. - том 23, № 3. – С. 106-112. (05.00.00.,№20)
5. Tojiev R.R., Mirzakulov Kh.Ch. Treatment of dried and mixed salts of Karaumbet in magnesium hydroxide following sodium sulfate and chloride production // Test Engineering & Management. - USA, 2020. - volume 83 (March-April). - pp.7101-7108. (Scopus).ИФ. SJR 0,1.
6. Тожиев Р.Р., Мирзакулов Х.Ч., Бобокулова О.С., Меликулова М.Э. Влияния технологических параметров на процесс переработки сухих смешанных солей озера Караумбет. // Научно-технический журнал ФерПИ, Фергана, 2020. - том 24, № 1. – С. 106-112. (05.00.00.,№20)
7. Тожиев Р.Р., Мирзакулов Х.Ч., Маткаримов К. Переработка рапы озера Караумбет в хлориды магния и натрия с попутным получением сульфата и карбоната кальция. // Научно-технический журнал ФерПИ, Фергана, 2020. - том 24, № 2. – С. 127-132. (05.00.00.,№20)
8. Тожиев Р.Р., Мирзакулов Х.Ч. Физико-химические исследования процесса получения оксида магния на основе переработки смешанных солей озера Караумбет. // Вестник Наманганского Государственного университета (Вестник НамДУ). - Наманган, 2020. - № 3. – С. 118-124. (02.00.00.,№20)
9. Тожиев Р.Р., Мирзакулов Х.Ч., Бобокулова О.С. Технология переработки сухих смешанных солей озера Караумбет на сульфат натрия. // Композиционные материалы. – Ташкент, 2020. - №2. - С. 113-116. (05.00.00.,№13)
10. Патент UZ №IAP 04470. Способ получения сульфата натрия. /

- Туробжонов С.М., Мирзакулов Х.Ч., Асамов Д.Д., Бардин С.В., Джураева Г.Х., Тожиев Р.Р. - Оpubл. 29.02. 2012. - Бюлл. №2.
11. Патент UZ № IAP 04526. Способ переработки природных рассолов, содержащих хлориды и сульфаты натрия и магния. / Туробжонов С.М., Мирзакулов Х.Ч., Асамов Д.Д., Халмуминов С.А., Кузнецова Ж.Н., Бардин С.В., Тоджиев Р.Р., Бобокулова О.С., Джураева Г.Х. (UZ). - Заявл. 29.08.2009. – Оpubл. 31.07. 2012г. - Бюл. № 7.

## II бўлим (II часть; part II)

12. Mirzakulov Kh.Ch., Tojiev R.R. Processing brine of salt lakes of Karakalpakstan in products of economic purpose. // International Scientific Journal Theoretical & Applied Science // USA. 2019, ISSN (P): 2308-4944; ISSN(E): 2409-0085 Vol. 80, Issue 12, Dec 2019, pp. 235-243. Impact Factor: 6.30.
13. Тожиев Р.Р., Мирзакулов Х.Ч. Физико-химические исследования процесса получения бишофита из рапы озера Караумбет и Барсакельмес. // Международный научно-исследовательский журнал. «Евразийский союз ученых» Научно-методический журнал. Москва, 2020. Том 1. №б. 75 - С. 11-17. [http:// www.euroasia-science.ru](http://www.euroasia-science.ru).
14. R.R.Todjiev, Kh.Ch.Mirzakulov, O.S. Bobokulova, B.A. Jurayeva Development of technology for producing magnesium hydroxide from dry mixed salts of Karaumbet Lake. // International Journal of Applied Research // Volume 6, May 2020. ISSN Print: 2394-7500, ISSN Online: 2394-5869, CODEN: IJARPF, Impact Factor: RJIF 5.2.
15. Бобокулова О.С., Тожиев Р.Р., Мирзакулов Х.Ч. Исследования по получению сульфата натрия из мирабилита Тумрюкского месторождения и сухих смешанных солей озера Караумбет // IX международной научно-конференции: «Достижения, проблемы и современные тенденции развития горно-металлургического комплекса» . 12-14 июня 2017. – Навои, 2017. - С. 431
16. Бобокулова О.С., Тожиев Р.Р., Мирзакулов Х.Ч., Туйчиев Д.П. Исследование процесса выпарки очищенных растворов рапы озер Караумбет и Барсакельмес. // Межд. науч.-прак. конф.: «Актуальные проблемы внедрения инновационной техники и технологий на предприятиях по производству строительных материалов, химической промышленности и в смежных отраслях» - 24-25 мая. 2019 года, Фергана. – том 2. – С.98-99.
17. Tojiev R.R., Mirzakulov Kh.Ch. Bishofit from salt Lake Barsakelmes. // LXI-International scientific and practical conference / «European research: innovation in science education and technology». - London, United Kingdom. March 09, 2020. – <https://internationalconference.ru/images/PDF/2020/61/bisofit-from-salt-pdf>.
18. Tojiev R.R., Mirzakulov Kh.Ch. Obtaining of magnesium hydroxide by processing leach Lake of Karaumbet. // XVI International correspondence

scientific specialized conference «International scientific review of the problems of natural sciences and medicine». Collection of scientific articles. Boston, USA, February 2-3, 2020. – <https://scientific-conference.com/grafic.html>

19. Тожиев Р.Р., Мирзакулов Х.Ч., Меликулова Г.Э. Влияния технологических параметров на процесс отстаивание обессульфаченной рапы озер Караумбет и Барсакельмес дистиллерной жидкостью // Иқтидорли талабалар, магистрантлар, докторантлар ва мустақил изланувчилар. Online илмий-амалий анжумани дастури. 24-25 апрель 2020 й. ФарПИ. Фарғона. - С.756-757.
20. Тожиев Р.Р., Мирзакулов Х.Ч., Бобокулова О.С. Исследование процесса фильтрации жидкой и твердой фаз из обессульфаченной рапы озер Караумбет и Барсакельмес дистиллерной жидкостью. // Иқтидорли талабалар, магистрантлар, докторантлар ва мустақил изланувчилар. Online илмий-амалий анжумани дастури. 24-25 апрель 2020 й. ФарПИ. Фарғона. - С. 761-762.
21. Тожиев Р.Р., Мирзакулов Х.Ч., Бобокулова О.С. Исследование процесса получения насыщенных и очищенных растворов из сухих смешанных солей озера Караумбет. // Иқтидорли талабалар, магистрантлар, докторантлар ва мустақил изланувчилар. Online илмий-амалий анжумани дастури. 24-25 апрель 2020 й. ФарПИ. Фарғона. - С. 751-752.
22. Тожиев Р.Р., Мирзакулов Х.Ч., Бобокулова О.С. Исследование процесса очистки дистиллерной жидкости рапой и сухими смешанными солями озер Караумбет. // Актуальные вопросы в области технических и социально-экономических наук. Республиканский межвузовский сборник научных трудов. Ташкент, ТХТИ, май, 2020. - С. 164-165.

Автореферат «Ўзбекистон кимё журнали» таҳририятида  
таҳрирдан ўтказилди.

Бичими 60x84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. «Times New Roman» гарнитураси. Офсет усулида босилди.  
Шартли босма табағи 3. Адади: 100. Буюртма: №8 .

«ЎзР Фанлар академияси Асосий кутубхонаси» босмахонасида чоп этилди.

100170, Тошкент, Зиёлилар кўчаси, 13 уй.