

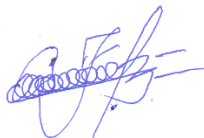
ДОНИШГОҲИ ДАВЛАТИИ ОМУЌЗОРИИ
ТОҶИКИСТОН
БА НОМИ САДРИДДИН АЙНӢ

Бо ҳукуқи дастнавис

ВБД: 546.32+546.46+546.266

ТҚБ: 24.1+24.121+24.122

С - 33



УМАРАЛИИ САФАРАЛӢ

**ҲАЛШАВАНДАГӢ ВА МУВОЗИНАТҲОИ ФАЗАГИИ
СИСТЕМАИ ОБӢ - НАМАКИИ СУЛФАТҲО,
КАРБОНАТҲОИ КАЛИЙ, МАГНИЙ, КАЛСИЙ ДАР
ҲАРОРАТҲОИ 0 ВА 25°C**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т И

диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии номзади
илмҳои химия
аз рӯи ихтисоси 1.4.2. Химияи ғайриорганикӣ

ДУШАНБЕ – 2026

Диссертатсия дар лабораторияи илмӣ-тадқиқоти «Омӯзиши системаҳои бисёркомпонента бо усули транслятсия ба номи Арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон, доктори илмҳои химия, профессор Солиев Л» - и назди кафедраи «Химияи умумӣ ва ғайриорганикӣ»-и Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни ба иҷро расонида шудааст.

Роҳбари илмӣ: **Усмонов Муҳаммадсалим Бозорович** – номзади илмҳои химия, дотсент

Муқарризони расмӣ: **Абулхаев Владимир Чалолович** – доктори илмҳои химия, профессор, мудири озмоишгоҳи «Химияи пайвастагиҳои гетеросиклӣ» - и Институти химияи ба номи В.И Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон
Акрамзода Рустами Ҷурахон – доктори фалсафа (PhD), доктор аз рӯи ихтисоси 6D060600 – Химия (6D060601 – Химияи ғайриорганикӣ), мудири кафедраи химияи Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Шириншох Шохтемур.

Муассисаи пешбар: **Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.Осимӣ**

Ҳимояи диссертатсия санаи «08» декабри соли 2026 соати «10⁰⁰» дар ҷаласаи Шӯрои диссертатсионӣ 6D. КОА – 136 - и назди Донишгоҳи миллии Тоҷикистон баргузор мегардад.

Суроға: 734025, ш. Душанбе, хиёбони Рудакӣ, 17 Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, бинои асосӣ, толори Шӯрои диссертатсионӣ, ошёнаи 2 - юм. E-mail: tojiddin_8989@mail.ru, телефон: (992)936002805, факс: (992-37)22117711.

Бо диссертатсия дар китобхонаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон ва сомонаи www.tnu.tj шинос шудан мумкин аст.

Автореферат «__» _____ соли 2026 фириастода шуд

Котиби Шӯрои диссертатсионӣ,
н.и.х., дотсент



Бобокалонов Т.Б.

МУҚАДДИМА

Мубраммии мавзӯи тадқиқот. Яке аз роҳҳои муҳими ҳалли масъалаи коркарди маводи табиӣ ва моддаҳои техногенӣ ин омӯзиши таркиби бисёркомпонентии мураккаби маъданҳо тавассути маҳдудҳои обию намакӣ мебошад, ки дорои аҳамияти назариявӣ, амалӣ ва экологӣ мебошанд. Танҳо дар шароити оптималии коркарди ашёи хоми полиминералии мураккаб дар муҳити системаҳои обию намакӣ мумкин аст натиҷаҳои наву боэътимоди илмиро ба даст овард.

Омӯзиши қонуниятҳои ҷараёни мувозинатии фазаҳо дар системаҳои бисёркомпонента дар шароити муайян бо истифода аз усули транслятсия ба кам шудани хароҷоти энергия ва вақт оварда мерасонад, инчунин имкони барқарорсозӣ ва ба роҳ мондани усулҳои васеӣ ба таври ратсионалӣ истифодабарии захираҳои табииро фароҳам месозад.

Системаҳои бисёркомпонентае, ки мавриди омӯзиш қарор доранд, объектҳои табиӣ мебошанд, мисли ҷинсҳои кӯҳӣ, ашёи хоми минералии маъданию ғайримаъданӣ, инчунин аз моддаҳои пайдоиши техногенӣ дошта, иборат мебошанд. Чунин объектҳои табиӣ на танҳо асоси тадқиқоти соҳаи химия, балки соҳаҳои петрология, минералогия, геология ва илмҳои ҳокиминоӣ низ мебошанд.

Тадқиқоти диссертатсионӣ дорои на танҳо аҳамияти назариявӣ илмӣ, балки арзиши муҳими амалӣ низ мебошад. Натиҷаҳои бадастомада ҳамчун маводи ахборотӣ ва барои коркарди партовҳои саноатӣ, аз ҷумла партовҳои истеҳсоли алюминий, ки таркибашон дорои намакҳои мазкур аст истифода бурда мешаванд.

Дарачаи таҳқиқи мавзӯи илмӣ. Поягузори назарияи мувозинатҳои фазагӣ дар системаҳои химиявӣ Д.В. Гиббс буда, аввалин шуда шароитҳои мувозинати химиявӣ ва қоидаи фазаҳоро пешниҳод намудааст. Дар тақмили назарияи асосҳои таҳлили физико-химиявӣ махсусан саҳми асосгузори ин фан Н.С. Курнаков хеле калон мебошад. Аз тарафи Н.С. Курнаков якумин маротиба вазифаҳои асосии таҳлили физико-химиявӣ ҳамчун илм муайян карда шудааст. Ӯ бори аввал вазифаҳои асосии “таҳлили физико-химиявиро, ки ба омӯзиши алоқамандии байни таркиб ва хосиятҳои ҷеншавандаи системаҳои химиявӣ равона гардида, имконияти сохтани диаграммаҳои ҳолатии онҳоро фароҳам меорад”, муайян намудааст [7, с.7]. “Назария ва усулҳои таҳқиқи системаҳои химиявӣ, аз он ҷумла системаҳои химиявии бисёркомпонента аз тарафи як қатор олимони дигар ба монанди Лодочников В.Н., Радищев В.П., Аносов В.Я., Коржинский Д.С., Перельман Ф.М., Жариков В.А., Посыпайко В.И., Горощенко Я.Г., Трунин А.С., Солиев Л. ва дигарон тақмил дода шудааст” [50, с.3]. Дар баробари ин “назария ва усулҳои таҳқиқи системаҳои химиявӣ, махсусан системаҳои химиявии бисёркомпонентаи обӣ- намакӣ, ба тақмил додан ниёз доранд, чунки то ҳоло на ҳаммаи паҳлӯҳои ин мушкилоти муҳим ҳалли худро ёфтаанд. Мушкилиҳои асосӣ дар

омӯзиши системаҳои химиявии бисёркомпонента, пеш аз ҳама ба он алоқаманд аст, ки то ҳоло усулҳои мавҷуда имконият намедиханд, ки системаҳои омӯхташавандаи бисёркомпонента ба таври оддӣ бо ёрии фигураҳои геометрии мавҷудаи сеченака инъикос карда шаванд, иҷрои корҳои таҷрибавӣ, вақт ва маводи химиявии зиёдро талаб мекунанд, зеро муайянсозии фазаҳои саҳти дар мувозинатбуда душвориро доранд” [50, с.6].

Таҳлили адабиётҳои мавҷуда нишон дод, ки системаи панҷкомпонентаи иборат аз сулфатҳо ва карбонатҳои калий, магний ва калсий барои ҳароратҳои 0 ва 25 °C омӯхта нашудаанд, бинобар ин мувозинатҳои фазагӣ ва ҳалшавандагии он пурра тавсиф нагардидааст.

Робитаи таҳқиқот бо барномаҳо (лоиҳаҳо) ва мавзӯҳои илмӣ. Мазмуни диссертатсия бо назардошти талаботи санадҳои меъёрию ҳуқуқӣ, “Стратегияи омӯзиш ва рушди фанҳои риёзӣ, дақиқ ва табиӣ дар соҳаи маориф ва илм дар давраи то соли 2030”, (қарори Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон аз 30 апрели соли 2021, №165), барномаи «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатиносии, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф» барои солҳои 2020- 2040, вобаста ба иҷрои нақшаи мавзӯи илмӣ тадқиқотии фармоишии “Омӯзиши физикӣ – химиявии системаи аз сулфатҳо, фторидҳои натрий, магний, калсий ва алюминий бо об ташкилёфта дар самти беҳдошти экологӣ” рақами қайди давлатиаш (РБ № 0125ТJ700) ба иҷро расонида шудааст.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади таҳқиқот. Муайян намудани қонуниятҳои ҳалшавандагӣ ва тағйироти фазагӣ дар системаҳои бисёркомпонентаи обию намакӣ, ки пайвастагии сулфатӣ ва карбонати калий, магний ва калсийро бо муқаррар намудани таркиби фазаҳои мувозинатии системаҳои чоркомпонента дар ҳароратҳои 0 ва 25°C дар бар мегиранд.

Вазифаҳои таҳқиқот. Барои ноил шудан ба ин ҳадаф вазифаҳои зерин ҳал карда шуданд:

- омӯзиши қонуниятҳои мувозинатҳои фазагӣ дар системаи панҷкомпонентаи обию намакӣ, ки сулфатҳо ва карбонатҳои калий, магний ва калсийро дар ҳарорати 0 ва 25°C дар бар мегиранд;

- дар асоси маълумот оид ба зерсистемаҳои фазагии ташкилкунанда, таҳқиқи ҳолатҳои мувозинатӣ дар системаҳои се ва чоркомпонента ва сохтани диаграммаҳои фазагӣ барои ҳароратҳои 0 ва 25 °C;

- сохтани диаграммаҳои схематикӣ мувозинатҳои фазагии системаи $K, Mg, Ca/ SO_4, CO_3 - H_2O$ дар ҳароратҳои 0 ва 25°C дар асоси қонуниятҳои гузариш аз системаҳои камкомпонента ба сатҳҳои системаҳои бисёркомпонента;

- муайян намудани ҷойгиршавии мутақобила ва ҳудудҳои майдонҳои кристаллизатсияи фазаҳои саҳти дар мувозинатбуда ва фрагментатсия кардани ин система;

- бо роҳи таҷрибавӣ таҳқиқи ҳалшавандагии системаҳои

чоркомпонентаи $K, Mg, Ca//CO_3-H_2O$ ва $K, Mg, Ca//SO_4-H_2O$ дар ҳароратҳои 0 ва 25 °C, муайян намудани таркиби фазаҳои моеъ ва сахти мувозинатӣ ва дар ин асос сохтани диаграммҳои ҳалшавандагии ин системаҳо.

Объекти таҳқиқот. Системаи панҷкомпонентаи обӣ-намакии иборат аз сулфатҳо ва карбонатҳои калий, магний ва калсий буда, инчунин зерсистемаҳои чоркомпонентаи он: $K, Mg, Ca//SO_4-H_2O$; $K, Mg, Ca//CO_3-H_2O$; $K, Mg //SO_4, CO_3-H_2O$; $Ca, Mg//SO_4, CO_3-H_2O$; $K, Ca//SO_4, CO_3-H_2O$ ва системаҳои секомпонентаи ин системаҳои чоркомпонентаро ташкилдиханда мебошад.

Мавзӯи таҳқиқоти илмӣ. Ҳалшавандагӣ ва мувозинатҳои фазагии системаи обӣ- намакии сулфатҳо, карбонатҳои калий, магний, калсий дар ҳароратҳои 0 ва 25°C.

Навгонии илмӣ таҳқиқот дар он асос меёбад, ки:

- таҳлили маълумоти гузаронидшуда, дараҷаи омӯзиши системаҳои обӣ - намакии $K, Mg, Ca//SO_4, CO_3-H_2O$ арзёби гардид ва таркиби зерсистемаҳои онҳо муайян карда шуд;

- дар асоси маълумот оид ба мувозинатҳои фазагии зерсистемаҳои ва элементҳои сатҳҳои гуногун бори аввал диаграммҳои фазавии системаи $K, Mg, Ca//SO_4, CO_3 - H_2O$ дар ҳароратҳои 0 ва 25°C сохта шуданд, ки муносибати байни фазаҳои сахти мувозинатиро инъикос мекунанд;

- бори аввал дар ҳароратҳои 0 ва 25°C хусусиятҳои сохтори комплекси фазавии системаи панҷкомпонента муайян карда шуда, тағйироти он бо баланд шудани ҳарорат муайян гардид;

- мавқеи майдонҳои дивариантии фазаҳои сахти кристаллӣ муайян карда шуданд ва дар асоси онҳо фрагментатсияи диаграммҳои фазавӣ дар ҳароратҳои таҳқиқотӣ анҷом дода шуд;

- дар натиҷаи таҳқиқоти таҷрибавӣ маълумоти нав оид ба ҳалшавии системаҳои чоркомпонентаи $K, Mg, Ca//SO_4 - H_2O$ ва $K, Mg, Ca// CO_3 - H_2O$ дар ҳароратҳои 0 ва 25°C ба даст оварда шуд. Хусусиятҳои мувозинатҳои фазавӣ онҳо муайян гардида, диаграммҳои дахлдори ҳалшавандагӣ сохта шуданд.

Нуқтаҳои ба ҳимоя пешниҳодшаванда:

- дар асоси таҳлили маълумотҳои адабиётӣ ва таҷрибавӣ, ки имконияти омӯзиши мувозинатҳои фазагии системаҳои сулфатҳо ва карбонатҳои калий, магний, калсийро фароҳам меоварад, муайян намудани таркиби зерсистемаҳои онҳо барои ҳароратҳои 0 ва 25 °C;

- бо усули транслятсия сохтани диаграммаи мувозинатҳои фазагии системаҳои чоркомпонентаи $K, Mg, Ca//SO_4-H_2O$; $K, Mg, Ca//CO_3-H_2O$; $K, Mg//SO_4, CO_3-H_2O$; $Ca, Mg//SO_4, CO_3-H_2O$; $K, Ca//SO_4, CO_3-H_2O$ дар ҳароратҳои таҳқиқотӣ;

- системаҳои чоркомпонентаи $K, Mg, Ca//SO_4-H_2O$ ва $K, Mg, Ca//CO_3-H_2O$ дар ҳароратҳои 0 ва 25 °C ба таври таҷрибавӣ

таҳқиқ гардида, таркиби фазаҳои саҳти мувозинатӣ ва мавқеи нуқтаҳои нонвариантии онҳо муайян карда шуданд. Дар асоси натиҷаҳои бадастомада диаграммаи ҳалшавандагии ин ду система барои ҳароратҳои додашуда сохта шуд.

Аҳамияти назариявӣ ва илмӣ амалии таҳқиқот дар он аст, ки:

- маълумоти бадастомада оид ба мувозинатҳои фазагии системаи $K, Mg, Ca/SO_4, CO_3-H_2O$ бо усули транслятсия метавонад ҳамчун маводи илмӣ-маълумоти барои таҳқиқ ва таҳлили минбаъдаи системаҳои бисёркомпонентаи обию намакӣ истифода гардад;

- қонуниятҳои муайяншудаи мувозинатҳои фазагӣ ва фазаҳосилшавӣ метавонанд ҳамчун заминаи илмӣ барои интиҳоб ва асоснок намудани шароити мусоиди технологияи коркарди ашёи хоми полиминералии табиӣ ва техногенӣ, аз ҷумла партовҳои саноатии дорои сульфатҳо ва карбонатҳои калий, магний ва калсий, хизмат намоянд.

Дарҷаи эътимоднокии натиҷаҳо. Эътимоднокии натиҷаҳои бадастомада тавассути коркард ва таҳлили онҳо бо усуҳои мусири физико-химиявӣ, апробатсияи онҳо дар конференсияҳои ҷумҳуриявӣ байналхалқӣ, симпозиум ва нашри мақолаҳо дар маҷаллаҳои тақризшавандаи КОА асоснок менамоянд.

Мутобикати диссертатсия бо шиносномаи ихтисоси илмӣ. Натиҷаҳои тадқиқоти илмии бадастомада ба бандҳои зерини шиносномаи 1.4. Химия (1.4.2. Химияи ғайриорганикӣ) мувофиқ мебошад:

Банди 1. Муайянкунии характери боҳамалоқамандӣ байни таркиб, сохт ва ҳосияти пайвастаҳои ғайриорганикӣ.

Банди 4. Омӯзиши табдилоти химиявӣ ва структуравӣ - фазавии пайвастаҳои ғайриорганикӣ.

Саҳми шахсии доктарабӣ дарҷаи илмӣ. Саҳми шахсии муаллиф аз таҳлили маълумоти адабиёт, банақшагирӣ ва гузаронидани таҳқиқоти назариявӣ ва таҷрибавӣ, коркард, ҷамъбаст ва таҳлили натиҷаҳои бадастомада, таҳияи хулосаҳо ва нашри мақолаҳои илмӣ иборат аст.

Тасвиб ва амалисозӣ: Тасвиби кори диссертатсионӣ дар конференсияҳои байналхалқӣ ва ҷумҳуриявии зерин баррасӣ шудааст: конференсияҳои илмӣ-назариявии ҳарсолаи устодону профессорони Донишгоҳи давлатии омӯзгорӣ Тоҷикистон ба номи С. Айни (Душанбе, 2014-2025); конференсияи илмӣ ҷумҳуриявӣ дар мавзӯи “Экология ва масъалаҳои таълиму тарбия” (Душанбе, 2014); конференсияи байналхалқии “Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий” (Душанбе-Москва- Тамбов, 2014); Международных научно – практической конференции «Пути и направления рационального использования водных ресурсов Таджикистана» (Душанбе, 2017); “Байкальский материаловедческий форум” (Улан- Уде, 2018);

Материалы IV Международной научно-практической конференции «Global science and innovations 2019: central Asia» (Астана, 2019); Конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ «Таҳқиқи таълими тафриқа» (Душанбе, 2019); Материалы V Международной научно – практической конференции «Нур-султан, Казахстан 2019»; Конференсияи Ҷумҳуриявии илмию амалӣ дар мавзӯи «Заминаҳои рушд ва дурнамои илми химия дар Ҷумҳурии Тоҷикистон» (Душанбе, 2020); Конференсияи байналмилалӣ илмию амалӣ дар мавзӯи «Проблемаҳои муносири саноати металлургӣ», (Душанбе, 2021); Конференсияи илмӣ-методӣ байналмилалӣ дар мавзӯи «Нақши илмҳои табиӣ, риёзӣ ва методикаи таълими онҳо дар раванди саноатикунӣ бо суръати кишвар» (Душанбе, 2022); Конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ – амалӣ дар мавзӯи “Вазъи кунунӣ ва дурнамои таҳлили физико – химиявӣ”, баҳшида ба эълон гардидани ҳадафи чоруми стратегӣ – саноатикунӣ кишвар, ва гирифтани хотираи арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон профессор, Л. Солиев (Душанбе, 2023); Международной научно-практической конференции по теме “Актуальные проблемы химической науки и промышленности” (Фаргона, 2023); 88-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов Белорусского государственного технологического университета. (Белорусия, 2024), Международная конференция «Химическая наука и образование, проблемы и перспективы развития» Дагестанский государственный педагогический университет им. Р. Гамзатова (г. Махачкала, 2024), Маводи конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалӣ дар мавзӯи «Вазъи кунунӣ ва дурнамои таҳлили физико–химиявӣ», баҳшида ба эълон гардидани ҳадафи чоруми стратегӣ–саноатикунӣ кишвар, солҳои 2022–2026 “Солҳои рушди саноат” ва гирифтани хотираи арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон доктори илмҳои химия профессор Лутфулло Солиев (Душанбе 2025), Маҷмӯи маводи конференсияи байналмилалӣ илмию амалӣ дар мавзӯи «Пайвастаҳои комплекси ва ҷанбаҳои истифодабарии онҳо» (Душанбе 2025) муҳокима шудаанд.

Интишороти аз рӯи мавзӯи диссертатсия. Дар асоси материалҳои қори диссертатсионӣ 10 мақола, (дар маҷаллаҳои тақризишавандаи ҚОА назди Президенти ҚТ) ва 16 фишурдаи мақола аз ҷои барномадааст.

Соҳтор ва ҳаҷми қори диссертатсия. Диссертатсия дастанвисест, ки дар 143-саҳифаи компютерӣ пешниҳод шуда, аз муқаддима, 3 боб ва хулоса иборат буда, 39 ҷадвал, рӯйхати адабиёти истифодашуда бо дарназардошти 125 асад дарбар мегирад.

МАЗМУНИ АСОСИИ ҚОРИ

Қори диссертатсионӣ ба муайян намудани қонуниятҳои ҳалшавандагӣ, фазаҳосилшавӣ ва мувозинатҳои фазагӣ дар системаи бисёркомпонентаи обӣ-намакии $K, Mg, Ca // SO_4, CO_3 \cdot H_2O$, инчунин зерсистемаҳои таркибии он дар ҳароратҳои 0 ва 25°C равона

гардидааст. Таҳлили маълумоти мавҷуда оиди системаи панҷкомпонентаи мазкур нишон дод, ки маълумот дар бораи мувозинатҳои фазагӣ ва ҳалшавандагии ин система дар ҳароратҳои интиҳобшуда нокифоя мебошанд. Вобаста ба ин, ҳангоми гузаронидани таҳқиқот диққати асосӣ ба муайян намудани таркиби фазаҳои саҳти мувозинатӣ, ошкор намудани хусусиятҳои ташаккул ва инкишофи комплексҳои фазагӣ, сохтани диаграммаҳои мувозинатҳои фазагӣ ва ҳалшавандагӣ, инчунин муайян намудани хусусиятҳои тағйирёбии онҳо ҳангоми баланд шудани ҳарорат аз 0 то 25°C равона карда шудааст.

Дар боби якуми диссертатсия усулҳои асосии таҳқиқи системаҳои бисёркомпонента, хусусиятҳо ва имкониятҳои татбиқи онҳо мавриди таҳлил қарор гирифтаанд, ки онҳо барои омӯзиши мувозинатҳои фазагӣ ва муайян намудани ҳалшавандагии компонентҳои система истифода мешаванд.

Боби дуюм ба натиҷаҳои таҳқиқоти равандҳои фазаҳосилшавӣ ва ҳалшавандагӣ бахшида шуда, онҳо дар шакли ифодаҳои геометрии системаи бисёркомпонентаи $K, Mg, Ca//SO_4, CO_3-H_2O$ барои ҳарорати 0 °C пешниҳод шудаанд. Барои гузариш аз системаҳои секомпонента ба чоркомпонента ва аз системаҳои чоркомпонента ба системаи панҷкомпонента аз усули транслятсия истифода карда шудааст. Истифодаи ин усул имконият медиҳад, ки ҳаҷми корҳои таҷрибавӣ кам гардида, ҳолати имконпазири мувозинати фазаҳои саҳт пешакӣ муайян карда шаванд. Қисми асосии ин бобро таҳқиқи таҷрибавии ҳалшавандагии системаҳои чоркомпонентаи $K, Mg, Ca//SO_4-H_2O$ ва $K, Mg, Ca//CO_3-H_2O$ дар ҳарорати 0 °C ташкил медиҳад.

Дар боби сеюм диаграммаи мувозинатҳои фазагии системаи панҷкомпонента ва зерсистемаҳои чоркомпонентаи таркибии он дар ҳарорати 25 °C пешниҳод гардида, инчунин майдонҳои кристаллизатсияи фазаҳои саҳти мувозинатӣ муайян гардиданд. Ҳамзамон, ҳалшавандагии системаҳои чоркомпонентаи сульфатҳо ва карбонатҳои калий, магний, калсий дар ҳарорати 25°C омӯхта шуда диаграммаи ҳалшавандагии онҳо сохта шуд. Этимоднокии маълумотҳои таҷрибавии бадастомада бо натиҷаҳои таҳлилии рентгенофазаӣ тасдиқ гардидааст.

Кори диссертатсионӣ бо хулосаҳои умумӣ ва рӯйхати адабиёти истифодашуда ба анҷом мерасад.

Ғайр аз нишондодҳои дар боло зикршуда, дар диссертатсия аломатҳои шартӣ ва шаклҳои ихтисоршудаи номи пайваستҳои химиявӣ низ истифода шудааст, аз ҷумла: Ше-шенит ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$); Пг-полигалит ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$); Эпс-эпсомит ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$); Сн-сингенит ($K_2SO_4 \cdot CaSO_4 \cdot H_2O$); Гп-гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$); Ар-арканит (K_2SO_4); Сс (кал) калсит ($CaCO_3$); М-12 ($MgSO_4 \cdot 12H_2O$); М-3 (Маг) магнезит ($MgCO_3 \cdot 3H_2O$); Mg·Ca (Дол) доломит ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$); К·Са – намаки дучанда ($K_2CO_3 \cdot CaCO_3$); К·1,5 ($K_2CO_3 \cdot 1,5H_2O$) ва К·2

$(K_2CO_3 \cdot 2H_2O)$.

Усулҳои омӯзиши системаҳои бисёркомпонента

Қонуниятҳои мувозинати фазагӣ асоси таҳлили равандҳои технологияи коркарди ашёи хоми табиӣ ва техногенӣ ба ҳисоб мераванд. Омӯзиши мувозинатҳои фазагӣ имкон медиҳад, ки тағйирёбии таркиб ва ҳолати фазавии система вобаста ба таъсири омилҳои беруна (харорат, фишор, консентратсия) муайян ва пешгӯӣ карда шавад. Он имкон медиҳад, ки шароити мусоид ба равандҳои технологӣ фароҳам гардад.

“Барои системаҳое, ки се, чор компонент доранд, диаграммаҳои ҳолатро бо ёрии фигураҳои геометрикӣ дар фазои сеченака тасвир кардан мумкин аст. Аммо, бо зиёд шудани шумораи компонентҳо (панҷ ва бештар аз он), тасвири он тавассути фазои сеченака ғайриимкон аст, зеро шумораи нуктаҳои нонварианти, хатҳои моноварианти ва майдонҳои диварианти афзоиш меёбанд. Дар чунин ҳолатҳо усулҳои мураккабтар, ба монанди усули транслятсия ё моделҳои математикии бисёркомпонента истифода мешаванд, ки барои сохтани системаҳои дорои компонентҳои бештар $(n+1)$ аз рӯи маълумотҳои n компонентегӣ имкон медиҳанд” [1, с. 112-115]. Дар ин тадқиқот усули транслятсия ба системаи панҷкомпонентаи $K, Mg, Ca // SO_4, CO_3 - H_2O$ татбиқ шудааст, ки имкон медиҳад маҳдудиятҳои мавҷуда бартараф карда шаванд.

Дар доираи таҳқиқоти гузаронидашуда системаи панҷкомпонента, ки аз сулфатҳо ва карбонатҳои калий, магний ва калсий иборат аст, мавриди таҳлил қарор гирифтанд. Системаҳои $K, Mg, Ca // SO_4 - H_2O$; $K, Mg, Ca // CO_3 - H_2O$; $K, Ca // SO_4, CO_3 - H_2O$; $Ca, Mg // SO_4, CO_3 - H_2O$ ва $K, Mg // SO_4, CO_3 - H_2O$ баррасӣ гардида, хусусиятҳои ҳолати фазагӣ ва таъсири мутақобилаи мувозинатии компонентҳои онҳо муайян карда шуданд.

Тибки маълумотҳои адабиётӣ, системаи панҷкомпонентаи $K, Mg, Ca // SO_4, CO_3 - H_2O$, инчунин системаҳои чоркомпонентаи он то имрӯз омӯхта нашудаанд. Дар робита ба ин, диаграммаҳои мувозинатҳои фазагӣ барои ин системаҳо вучуд надоранд.

Ҳалшавандагии системаҳои секомпонента, ки дар ҳароратҳои 0 ва 25 °C омехташуда мебошанд, инҳоянд: $K, Mg // SO_4 - H_2O$, $K // SO_4, CO_3 - H_2O$, $K, Mg // SO_4 - H_2O$, $Ca, K // SO_4 - H_2O$. Се системаи секомпонентаи дигар танҳо дар ҳарорати 25 °C $Mg // SO_4, CO_3 - H_2O$, $Mg, Ca // SO_4 - H_2O$ ва $Ca // SO_4, CO_3 - H_2O$ омӯхта шудаанд. Системаҳои секомпонентаи $Ca, K // CO_3 - H_2O$ ва $K, Mg // CO_3 - H_2O$ умуман омӯхта нашудаанд ва онҳоро мо шартан эфтоникӣ қабул намудем.

Дар асоси маълумоти илмӣ нашршуда дараҷаи омӯзиши системаи панҷкомпонентаи $K, Mg, Ca // SO_4, CO_3 - H_2O$, инчунин системаҳои се- ва чоркомпонентаи ба таркиби он дохилшаванда дар ҳароратҳои 0 ва 25°C ҷамъбаст карда шуд. Таҳлили гузаронидашуда имкон дод, ки сатҳи омӯзиши зерсистемаҳои алоҳида муайян гардида, системаҳое муайян карда шаванд, ки оиди мувозинатҳои фазавии онҳо

маълумот мавҷуд нест ё маълумоти мавҷуда нокифоя мебошад. Натиҷаҳои ҷамъбастии таҳлил дар ҷадвали 1 пешниҳод шудаанд.

Ҷадвали 1. – Ҳолати омӯзиши системаҳои се-, чор- ва панҷкомпонентии $K, Mg, Ca//SO_4, CO_3-H_2O$ ҳароратҳои 0 ва 25°C

№ Р/Т	Системаҳо	Компонентноки	Ҳарорат	
			0°C	25°C
1	$K, Mg, Ca//SO_4, CO_3-H_2O$	5	-	-
2	$K, Mg//SO_4, CO_3-H_2O$	4	-	-
3	$Mg, Ca//SO_4, CO_3-H_2O$	4	-	-
4	$K, Ca//SO_4, CO_3-H_2O$	4	-	-
5	$K, Mg, Ca//SO_4-H_2O$	4	-	+
6	$K, Mg, Ca//CO_3-H_2O$	4	-	-
7	$K, Mg//SO_4-H_2O$	3	+	+
8	$K//SO_4, CO_3-H_2O$	3	+	+
9	$Mg//SO_4, CO_3-H_2O$	3	-	+
10	$K, Mg//CO_3-H_2O$	3	-	-
11	$Mg, Ca//SO_4-H_2O$	3	-	+
12	$Mg, Ca//CO_3-H_2O$	3	+	+
13	$Ca//SO_4, CO_3-H_2O$	3	+	+
14	$Ca, K//SO_4-H_2O$	3	+	+
15	$Ca, K//CO_3-H_2O$	3	-	-

Фазаҳосилшавӣ ва ҳалшавандагӣ дар ифодаҳои геометрии системаи бисёркомпонентии $K, Mg, Ca//SO_4, CO_3-H_2O$ барои 0°C бо усули транслятсия

Системаи $K, Mg, Ca//SO_4-H_2O$

Асоси таҳқиқи системаи мазкурро системаҳои обию намакии сулфатҳои калий, магний ва калсий ташкил медиҳанд. Ҳар яке аз ин зерсистемаҳо бо хусусиятҳои хоси мувозинатҳои фазаӣ тавсиф карда мешаванд. Тибқи маълумоти адабиёт дар ҳарорати 0°C барои системаҳои мазкур ташаккули як ё ду нуқтаи нонварианти хос буда, дар онҳо мувозинати фазаӣ байни фазаҳои сахти $Ar + She$, $She + M \cdot 12$, $Ar + Sn$, $Sn + Gp$ ва $M \cdot 12 + Gp$ ба вуҷуд меояд. Дар ин ҳолат се нуқта дар сатҳи системаҳои чоркомпонента ба вуҷуд меояд: E_1^4 , E_2^4 , E_3

Системаи $K, Mg, Ca//CO_3-H_2O$

«Системаи чоркомпонентии мазкур аз зерсистемаҳои зерин иборат мебошанд: $Mg, Ca // CO_3 - H_2O$, $K, Ca // CO_3 - H_2O$ ва $K, Mg // SO_4, CO_3 - H_2O$. Ҳар яке аз ин зерсистемаҳо бо мавҷудияти нуқтаи нонварианти тавсиф шуда, шароити мувозинати фазаҳои сахтро

муайян менамояд» [86, с. 11]. Ташаккули чунин мувозинатҳо дар ин зерсистемаҳо метавонад бо мисолҳои пайвастшавии фазаҳо мисли $\text{Cs}+\text{Mg}\cdot\text{Ca}$, $\text{M}\cdot 3+\text{Mg}\cdot\text{Ca}$ ва $\text{K}\cdot 2+\text{M}\cdot 3$, инчунин $\text{Cs}+\text{K}\cdot 2$ тасвир карда шаванд. Ин фазаҳо хусусиятҳо ва шароити мавҷудияти мувозинати системаро муайян намуда, барои пайдоиши нуқтаҳои нонвариантии E_4^4 ва E_5^4 замина фароҳам меоранд.

Системаи $\text{K,Mg} // \text{SO}_4, \text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$

Асоси системаи мазкурро чор системаи секомпонентаи обию намакӣ, ки аз сулфатҳо ва карбонатҳои калий, сулфатҳо ва карбонатҳои магний, инчунин карбонатҳои калий ва магний иборатанд ташкил медиҳанд. Барои яке аз ин системаҳо мавҷудияти ду нуқтаи нонварианти хос буда, ба ҳар яке аз се системаи боқимонда яктогӣ нуқтаи нонварианти хос аст. Ҳангоми транслятсия шудан аз сатҳи секомпонента ба сатҳи чоркомпонента чунин нуқтаҳои нонварианти, бо фазаҳои саҳти дар мувозинат буда хос ҳастанд: $E_6^4 = \text{Ше} + \text{K}\cdot 2 + \text{M}\cdot 3$; $E_7^4 = \text{Ар} + \text{Ше} + \text{K}\cdot 2$ ва $E_8^4 = \text{Ше} + \text{M}\cdot 12 + \text{M}\cdot 3$.

Системаи $\text{Ca,Mg} // \text{SO}_4, \text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$

Ин системаи чоркомпонента зерсистемаҳои секомпонентаи зеринро дар бар мегирад: $\text{Ca,Mg} // \text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Ca,Mg} // \text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Ca} // \text{SO}_4, \text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ и $\text{Mg} // \text{SO}_4, \text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$. “Барои зерсистемаи $\text{Ca} // \text{SO}_4, \text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ ду нуқтаи нонварианти ва барои се системаи дигар яктоги нуқтаи нонварианти хос аст. Дар ҷараёни транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи секомпонента ба сатҳи чоркомпонентагӣ нуқтаҳои нави нонварианти ҳосил мешаванд, ки ҳар яке ба мувозинати муайяни фазаҳои саҳт мувофиқат мекунанд [88, с. 230]: $E_9^4 = \text{M}\cdot 12 + \text{Mg}\cdot\text{Ca} + \text{M}\cdot 3$; $E_{10}^4 = \text{Гп} + \text{M}\cdot 12 + \text{Mg}\cdot\text{Ca}$ ва $E_{11}^4 = \text{Гп} + \text{Cs} + \text{Mg}\cdot\text{Ca}$. Ҳамин тавр, барои ин система се нуқтаи нонварианти муайян карда шудаанд, ки онҳо фазаҳои саҳти дар мувозинатбударо инъикос мекунанд.

Системаи $\text{K,Ca} // \text{SO}_4, \text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$

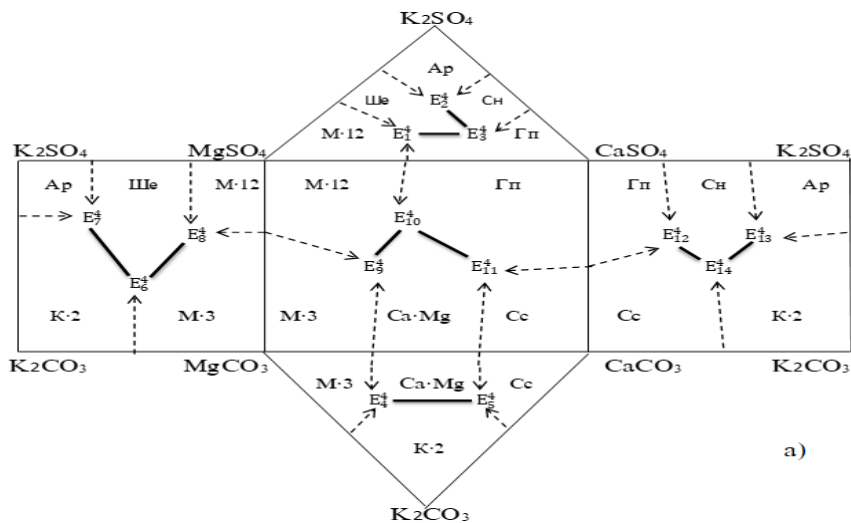
Дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи секомпонентагӣ ба сатҳи чоркомпонентагӣ се нуқтаи нонварианти E_{12}^4 , E_{13}^4 ва E_{14}^4 муайян гардид. Ин нуқтаҳо ба мувозинати муштаракӣ фазаҳои саҳти мувофиқ, яъне $\text{Сн} + \text{Ар} + \text{K}\cdot 2$, $\text{Сн} + \text{Гп} + \text{Cs}$ ва $\text{Cs} + \text{Сн} + \text{K}\cdot 2$ муносиб мебошанд. Маҷмӯи фазаҳои саҳти мувозинатии $\text{Сн} + \text{Ар} + \text{K}\cdot 2$, $\text{Сн} + \text{Гп} + \text{Cs}$ ва $\text{Cs} + \text{Сн} + \text{K}\cdot 2$ боиси ташаккулёбии нуқтаҳои нонвариантии мазкур дар системаи таҳқиқшаванда гардидааст.

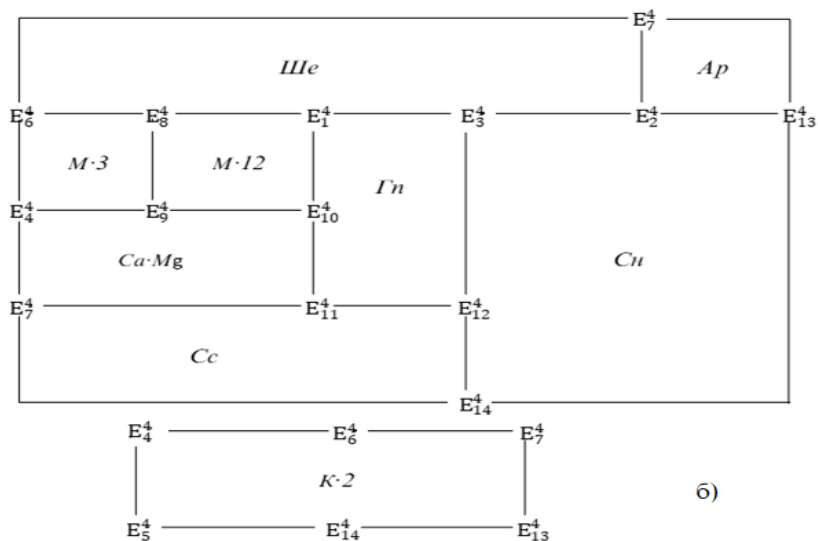
Пас аз муттаҳид намудани майдонҳои кристаллизатсияи фазаҳои саҳти якхелаи системаҳои чоркомпонента, ки системаи панҷкомпонентаро ташкил медиҳанд, нуқтаҳои нонварианти ва фазаҳои саҳти мувозинатии ба онҳо мувофиқ дар расми 1 нишон дода шудаанд. Дар ин ҳолат сохтори диаграммаи мувозинатҳои фазагӣ дар сатҳи чоркомпонентагӣ ҳамчун асос барои сохтани диаграммаи мувозинатҳои фазагии система дар сатҳи панҷкомпонентагӣ истифода карда мешавад.

**Чадвали 2. – Мувозинатҳои фазагӣ дар нуқтаҳои инварианти
сатҳи чоркомпонента барои ҳарорати 0°C**

Нуқтаҳои инварианти	Система	Фазаҳои сахти дар мувозинат буда
E_1^4	K, Mg, Ca//SO ₄ -H ₂ O	M·12+Гп+Ше
E_2^4		Ар+Ше+Сн
E_3^4		Сн+Ше+Гп
E_4^4	K, Mg, Ca//CO ₃ -H ₂ O	M·3+Ca·Mg+K·2
E_5^4		Ca·Mg+K·2+Cc
E_6^4	K, Mg//SO ₄ , CO ₃ -H ₂ O	Ше+M·3+K·2
E_7^4		Ар+Ше+K·2
E_8^4		Ше+M·3+M·12
E_9^4	Ca, Mg//SO ₄ , CO ₃ -H ₂ O	M·12+M·3+Ca·Mg
E_{10}^4		Ca·Mg+M·12+ Гп
E_{11}^4		Гп +Ca·Mg + Cc
E_{12}^4	K, Ca//SO ₄ , CO ₃ -H ₂ O	Cc +Сн +Гп
E_{13}^4		Сн+Ар+K·2
E_{14}^4		Сн+Cc + K·2

Дар асоси маълумоти чадвали 2 ва бо истифода аз усули транслятсия мувозинатҳои фазагии системаи K, Mg, Ca//SO₄, CO₃ -H₂O дар ҳарорати 0°C таҳқиқ карда шуданд. Натиҷаҳои таҳқиқот барои омӯзиш ва сохтани диаграммаи мувозинатҳои фазагии системаи мазкур дар ҳарорати 0°C замина фароҳам оварданд.





Расми 1. – Диаграмаи мувозинатҳои фазагии системаи $K, Mg, Ca/SO_4, CO_3-H_2O$ барои ҳарорати $0^\circ C$, дар сатҳи чоркомпонентагӣ а) ба шакли призмаи кушода б) ба шакли схемавӣ

Таҳлили маълумоти дар расми 1 овардашуда нишон медиҳад, ки барои системаи $K, Mg, Ca // SO_4, CO_3-H_2O$ дар ҳарорати $0^\circ C$ дар сатҳи системаи чоркомпонента ташаккули нӯҳ майдонҳои дивариантӣ, ки ба кристаллизатсияи фазаҳои саҳти мувозинатӣ мувофиқанд, бист хатти моновариантӣ, ки кристаллизатсияи якҷояи ду фазаро инъикос менамоянд, инчунин чордаҳ нуқтаи нонвариантӣ, ки дар онҳо кристаллизатсияи се фаза амалӣ мегардад, хос мебошад.

Сохторҳои диаграммаи системаи панҷкомпонента, ки дар расми 1б пешниҳод гардидаанд дар сатҳи чоркомпонентагӣ омӯхта шудаанд. Ин сохтор метавонад минбаъд ҳамчун маълумоти илмӣ барои гузоштани унсурҳои сохтори системаи тадқиқшаванда дар сатҳи панҷкомпонентагӣ хизмат кунад.

Бо истифода аз нуқтаҳои нонвариансии муайянгардида бори аввал диаграммаи схемавии мувозинатҳои фазагии системаи $K, Mg, Ca/SO_4, CO_3-H_2O$ барои ҳарорати $0^\circ C$ дар сатҳи панҷкомпонентагӣ сохта шуд. Дар диаграммаи мазкур сохтори умумии система, ҷойгиршавии майдонҳои кристаллизатсияи фазаҳои саҳт ва робитаи мутақобилаи байни ҳолатҳои мувозинатҳои фазагӣ инъикос гардидааст (расми 2).

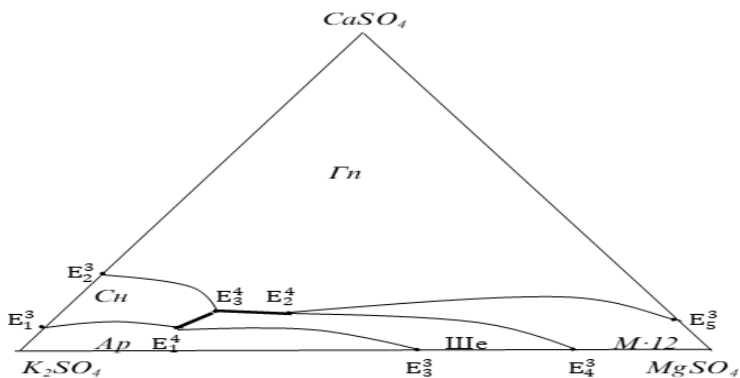
Таҳқиқи таҷрибавии ҳалшавандагии системаи $K, Mg, Ca//SO_4-H_2O$ дар $0^\circ C$

“То имрӯз системаи чоркомпонентаи мазкур дар ҳарорати $0^\circ C$ ба таври ҳамаҷониба омӯхта нашудааст. Аз ин рӯ, аз ҷониби мо омӯзиши он бо истифода аз усули транслятсия анҷом дода шуд, ки дар натиҷа бори аввал диаграммаи схемавии мувозинатҳои фазавии ин система таҳия гардид. Бо дарназардошти аҳамияти амалӣ ва хусусиятҳои хоси мувозинатҳои фазавии ин система, омӯзиши он инчунин бо роҳи таҷрибавӣ низ анҷом дода шуд» [82, с. 418-424]. Дар зербоби мазкур натиҷаҳои тадқиқоти ҳалшавандагии нуктаҳои нонвариантии системаи $K, Mg, Ca//SO_4-H_2O$ дар ҳарорати $0^\circ C$ баррасӣ ва таҳлил карда мешаванд.

Таркиби элементарии системаҳои чоркомпонента, ки сулфатҳои калий, магний ва калсийро дар ҳарорати $0^\circ C$ дар бар мегиранд, дар шакли кристаллизатсияи фазаҳои зерин амалӣ мегардад: Ар-арканит (K_2SO_4); Ше-шенит ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$); Сн-сингенит ($K_2SO_4 \cdot CaSO_4 \cdot H_2O$); Гп-гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) и М-12 ($MgSO_4 \cdot 12H_2O$).

Барои гузаронидани таҷриба аз намакҳои аз ҷиҳати химиявӣ тозаии зерин истифода бурда шуд: $CaSO_4 \cdot 2H_2O$; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$; K_2SO_4 . Маълумоти таҷрибавӣ, ки дар ҷараёни тадқиқот ба даст оварда шудаанд, нишон медиҳад, ки таркиби маҳлули мувозинатӣ вобаста ба маҷмӯи фазаҳои саҳти кристаллизатсияшаванда ба таври назаррас тағйир меёбад. Барои намакҳои алоҳида дар $0^\circ C$ миқдори $K_2SO_4 - 7,50\%$, $CaSO_4 - 0,22\%$ ва $MgSO_4 - 20,30\%$ аз рӯи масса муайян гардид. Дар байни ин се компоненти алоҳида $CaSO_4$ бо миқдори хеле ками худ дар маҳлули сершуда фарқ мекунад. Дар нуктаҳои новариантии сатҳи чоркомпонентагӣ таркиби маҳлулҳо мураккабтар мегардад. Муайян карда шуд, ки нуктаи E_1^4 , ки фазаҳои саҳти мувозинатии Ар+Сн+Ше - ро фаро мегирад $4,48\% K_2SO_4$, $0,157\% CaSO_4$ ва $2,56\% MgSO_4$ дорад. E_2^4 фазаҳои саҳти мувозинаташ Ше+М-12+Гп аст нишондиҳандаҳо мутаносибан ба 2,70; 0,147; ва 1,85 % - ро ташкил медиҳад. Барои E_3^4 фазаҳои саҳти мувозинатии Гп + Сн+Ше хос аст, ки миқдори K_2SO_4 , $CaSO_4$ ва $MgSO_4$ мутаносибан ба 2,97; 0,129 ва 1,185 % - и массавӣ баробар аст.

Дар асоси натиҷаҳои таҳқиқоти таҷрибавӣ диаграммаи ҳалшавандагии системаи $K, Mg, Ca//SO_4-H_2O$ дар ҳарорати $0^\circ C$ сохта шуд. Қисми қисми намакии диаграмма дар расми 3 оварда шудааст.



Расми 3. – Қисми намакии диаграммаи ҳалшавандагии системаи $K, Mg, Ca//SO_4-H_2O$ барои ҳарорати $0^\circ C$

Барои муайян намудани мавқеи нуқтаҳои ҳоси диаграмма аз усули массентрӣ истифода бурда шуд. Бо ин роҳ ҷойгиршавии нуқтаҳои нонвариантии сатҳи се- ва чоркомпонента муайян гардида, сарҳадҳои байни майдонҳои кристаллизатсияи фазаҳои саҳт муайян гардиданд.

Таҳқиқи таҷрибавии ҳалшавандагии системаи $K, Mg, Ca//CO_3-H_2O$ барои ҳарорати $0^\circ C$

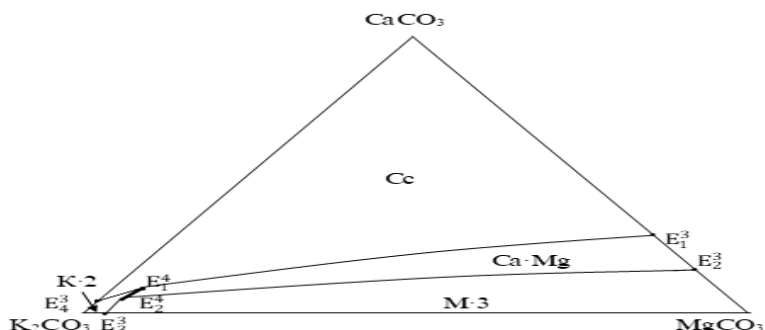
Бо мақсади муайян намудани қонуниятҳои мувозинати фазагӣ системаи чоркомпонентаи $K, Mg, Ca // CO_3 - H_2O$ дар ҳарорати $0^\circ C$ ба таври таҷрибавӣ омӯхта шуд.

Фазаҳои саҳти мувозинати дар системаи омӯхташаванда барои ҳарорати $0^\circ C$ инҳоянд: $CaCO_3$ - калсит (Cc); $K_2CO_3 \cdot 2(H_2O)$; $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ - доломит ($Ca \cdot Mg$); $MgCO_3 \cdot 3H_2O$ - магнезит ($Mg \cdot 3$). Натиҷаи таҷриба дар ҷадвали 3 оварда шудааст.

Ҷадвали 3. – Тақриби маҳлулҳои сершуда ва фазаҳои саҳти мувозинатии системаи $K, Mg, Ca // CO_3 - H_2O$ дар ҳарорати $0^\circ C$

Нуқтаҳои нонварианти	Тақриби фазаи моеъ. бо %				Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
	K_2CO_3	$CaCO_3$	$MgCO_3$	H_2O	
e_1	51,7	-	-	48,3	$K \cdot 2$
e_2	-	0,0048	-	99,9952	Cc
e_3	-	-	0,3206	99,6794	$M \cdot 3$
E_1^3	-	0,0174	0,0245	99,9581	Cc + $Ca \cdot Mg$
E_2^3	-	0,0411	0,0381	99,9208	$Ca \cdot Mg$ + $M \cdot 3$
E_3^3	45,786	-	0,0392	54,1748	$K \cdot 2$ + $M \cdot 3$
E_4^3	47,816	0,0143	-	52,1697	$K \cdot 2$ + Cc
E_1^4	46,113	0,0173	0,0274	53,8423	Cc + $Ca \cdot Mg$ + $K \cdot 2$
E_2^4	49,763	0,0146	0,0253	50,1971	$K \cdot 2$ + $Ca \cdot Mg$ + $M \cdot 3$

Дар асоси маълумотҳои ҷадвал мавқеи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи се- ва чоркомпонента муайян гардида диаграммаи ҳалшавандагии ин система (расми 4) сохта шуд.



Расми 4. – Диаграммаи ҳалшавандагии системаи карбонатҳои калий, магний ва калсий бо об дар ҳарорати 0 °C

Фазаҳосилшавӣ ва ҳалшавандагӣ дар ифодаҳои геометрии системаи бисёркомпонентаи K,Mg,Ca//SO₄,CO₃-H₂O барои ҳарорати 25 °C бо усули транслятсия

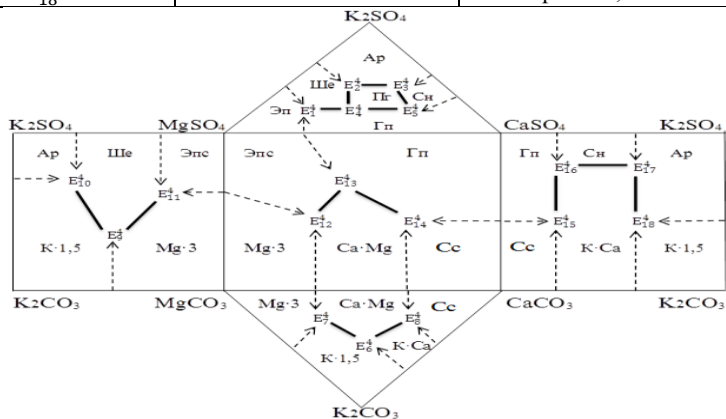
Таҳқиқоти гузаронидашуда бо истифода аз усули транслятсия нишон медиҳанд, ки дар сатҳи чоркомпонентагӣ системаи обию намакӣ нуктаҳои нави нонвариантии пайдо мешаванд. Ҳамин тавр, чор нуктаи нави нонвариантии E₁₅⁴ то E₁₈⁴ муайян гардидаанд, ки дар мувозинат будани фазаҳои сахти зеринро тавсиф мекунанд: Гп+Cc+K·Ca; Cn+Гп+K·Ca; Cn+Ar+K·Ca и K·Ca+Ar+K·1,5.

Натиҷаҳои бадастомада оид ба нуктаҳои нонвариантии сатҳи чоркомпонентагӣ, ки ба системаи панҷкомпонентаи иборат аз карбонатҳо ва сулфатҳои калий, магний ва калсий тааллуқ доранд, бо истифода аз усули транслятсия дар ҳарорати 25 °C ҷамъбаст гардида, дар ҷадвали 4 пешниҳод шудаанд. Дар асоси маълумоти бадастомада диаграммаи мувозинатҳои фазагии системаи мазкур дар шакли призмаи панҷрӯяи кушода сохта шуда, дар расми 5 оварда шудааст.

Ҷадвали 4. – Тавсифи нуктаҳои нонвариантии системаи K,Mg,Ca // SO₄,CO₃-H₂O дар ҳарорати 25 °C, ки бо усули транслятсия муайян карда шудааст

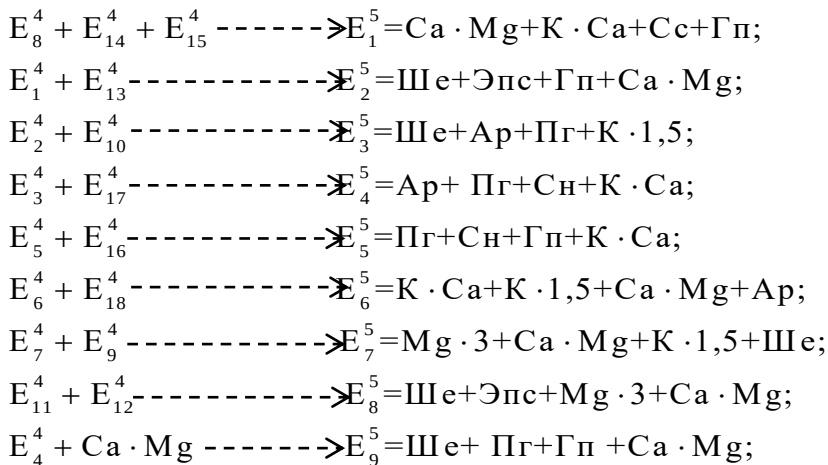
Нуктаҳои нонвариантии	Система	Фазаҳои сахти дар мувозинат буда
E ₁ ⁴	K,Mg,Ca//SO ₄ -H ₂ O	Эпс+Ше+Гп
E ₂ ⁴		Ар+Ше+Пг
E ₃ ⁴		Ар+Пг+Сн
E ₄ ⁴		Ше+Пг+Гп
E ₅ ⁴		Пг+Сн+Гп
E ₆ ⁴	K,Mg,Ca//CO ₃ -H ₂ O	Ca·Mg+K·1,5+K·Ca
E ₇ ⁴		Mg·3+ Ca·Mg+K·1,5
E ₈ ⁴		Ca·Mg+ K·Ca+Cc
E ₉ ⁴		Ше+ K·1,5+Mg·3
E ₁₀ ⁴	K,Mg//SO ₄ ,CO ₃ -H ₂ O	Ар+Ше+ K·1,5
E ₁₁ ⁴		Ше+Эпс+ Mg·3

Идмои чадвали 4.		
E_{12}^4	$\text{Ca, Mg//SO}_4, \text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$	$\text{Эпс}+\text{Mg}\cdot 3+\text{Ca}\cdot \text{Mg}$
E_{13}^4		$\text{Эпс}+\text{Гп}+\text{Ca}\cdot \text{Mg}$
E_{14}^4		$\text{Гп}+\text{Ca}\cdot \text{Mg}+\text{Cc}$
E_{15}^4	$\text{K, Ca//SO}_4, \text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$	$\text{Гп}+\text{Cc}+\text{K}\cdot \text{Ca}$
E_{16}^4		$\text{Гп}+\text{K}\cdot \text{Ca}+\text{Cн}$
E_{17}^4		$\text{Cн}+\text{Ар}+\text{K}\cdot \text{Ca}$
E_{18}^4		$\text{Ар}+\text{K}\cdot 1,5+\text{K}\cdot \text{Ca}$



Расми 5. – Сохтори геометрии изотермаи 25°C – и системаи $\text{K, Mg, Ca//SO}_4, \text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ дар сатҳи чоркомпонентагӣ

Ҳангоми интиқоли нуқтаҳои нонвариантии сатҳи чоркомпонента ба сатҳи панҷкомпонента чунин нуқтаҳои нонвариантии сатҳи панҷкомпонента ҳосил мешаванд:



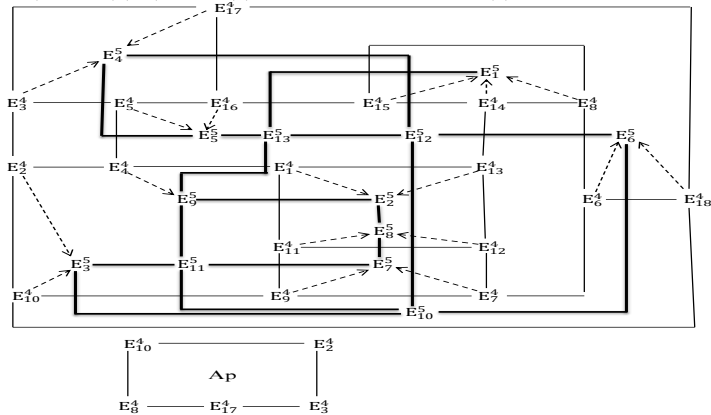
$$E_{10}^5 = \text{Пг} + \text{К} \cdot 1,5 + \text{Са} \cdot \text{Мг} + \text{Ар};$$

$$E_{11}^5 = \text{Пг} + \text{К} \cdot 1,5 + \text{Са} \cdot \text{Мг} + \text{Ше};$$

$$E_{12}^5 = \text{Пг} + \text{К} \cdot \text{Са} + \text{Са} \cdot \text{Мг} + \text{Ар};$$

$$E_{13}^5 = \text{Гп} + \text{Са} \cdot \text{Мг} + \text{Пг} + \text{К} \cdot \text{Са};$$

“Дар асоси натиҷаҳои ба дастомада диаграммаи мувозинати фазагии системаи $\text{K, Mg, Ca} // \text{SO}_4, \text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 25°C , дар сатҳи панҷкомпонентагӣ сохта шуд (расми 6)” [97, с. 223 - 225]. Диаграммаҳои таҳияшуда қонуниятҳои асосии мувозинатҳои фазаӣ, ҷойгиршавии мутақобилаи онҳо ва хусусиятҳои фазаҳосилшавиро дар системаҳои таҳқиқшаванда инъикос менамоянд.



Расми 6. – Диаграммаи схематии мувозинатҳои фазагии изотермаи 25°C -и системаи $\text{K, Mg, Ca} // \text{SO}_4, \text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ дар сатҳи панҷкомпонентагӣ

Мавҷудияти мувозинати маҳлулҳои сершуда бо ду фазаи сахт, ки байни нуқтаҳои нонвариантии сатҳи чоркомпонента ба амал меояд, тавассути хатҳои борики яқлухт нишон дода шудааст. Хатҳои канда – канда самти раванди транслятсияро аз сатҳи чоркомпонента ва сатҳи панҷкомпонента инъикос менамоянд.

Сарҳади байни ин майдонҳоро 35 хати моновариантии ташкил медиҳанд, ки мувозинати яқҷояи ду фазаи сахтро инъикос мекунанд. Илова ба ин, дар диаграмма 13 нуқтаи нонвариантии муайян карда шудааст, ки дар ҳар яке аз онҳо се фазаи сахт дар ҳолати мувозинат қарор дорад

Системаи $\text{K, Mg, Ca} // \text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$

“Системаҳои секомпонентаи $\text{K}_2\text{SO}_4 - \text{MgSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$, $\text{K}_2\text{SO}_4 - \text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ ва $\text{MgSO}_4 - \text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ ба таркиби системаи обию намакии таҳқиқшавандаи $\text{K, Mg, Ca} // \text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ дохил мешаванд” [85, с. 112].

Дар зерсистемаҳои секомпонентаи ташкилкунандаи системаи чоркомпонентаи обӣ-намакӣ нуқтаҳои нонвариантии мавҷуданд, ки дар

мувозинат будани фазаҳои саҳти зерин мувофиқат мекунад: $Ше + Эпс$; $Ар + Ше$; $Ар + Сн$; $Сн + Гп$ ва $Эпс + Гп$. Ҳангоми баланд шудани ҳарорат аз $0^{\circ}C$ то $25^{\circ}C$, дар натиҷаи боҳамтаъсиркунии компонентҳои система боиси пайдошавии фазаи саҳти – полигалит ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$) мегардад. Пайдоиши ин фаза боиси мураккаб гардидани сохтори диаграмма ва афзоиши шумораи элементҳои геометрии он мегардад. Дар натиҷа, хусусиятҳои мувозинатҳои фазагии система дар ҳарорати мазкур тағйир меёбанд. Фазаи саҳти нави полигалит дар ҳамин ҳарорат бо ҳамаи майдонҳо ҳамсарҳад мебошад. Ин ҳолат аз ҳалшавандагии пасти полигалит шаҳодат медиҳад, зеро майдони кристаллизатсияи он қисми зиёди диаграммай мазкурро ишғол менамояд.

Сабаби пайдоиши нуктаҳои нонварианти дар сатҳи чоркомпонентагӣ раванди транслятсияи нуктаҳои нонварианти аз сатҳи секомпонентагӣ ба сатҳи чоркомпонентагӣ мебошад. Барои ҳар яке аз онҳо чунин фазаҳои саҳти дар мувозинат будаи зерин мувофиқат мекунад: $E_1^4 = Эп + Ше + Гп$; $E_2^4 = Ше + Ар + Пг$; $E_3^4 = Сн + Ар + Пг$ и $E_4^4 = Сн + Гп + Пг$.

Системаи $K, Mg, Ca // CO_3-H_2O$

Системаи чоркомпонентаи мазкур дар ҳарорати $25^{\circ}C$ аз се зерсистемаи обӣ – намакӣ иборат аст: $CaCO_3-MgCO_3-H_2O$, ки дорои 2 нуктаи нонварианти аст, $K_2CO_3-CaCO_3-H_2O$, ки да он низ 2 нуктаи нонварианти мавҷуд аст ва $K_2CO_3-MgCO_3-H_2O$, ки дорои 1 нуктаи нонварианти мебошад. Дар ҳамаи ин зерсистемаҳо маҷмӯи фазаҳои саҳти мувозинатии зерин мавҷуданд: $K \cdot 1,5 + K \cdot Ca$; $Сс + K \cdot Ca$; $Сс + Mg \cdot Ca$; $Mg \cdot Ca + M \cdot 3$ ва $K \cdot 1,5 + M \cdot 3$. Сабаби пайдошавии нуктаҳои нонварианти дар системаи чоркомпонента раванди транслятсияи нуктаҳои нонвариантии қаблан муайяншуда аз сатҳи зерсистемаҳои мувофиқ ба сатҳи чоркомпонента мебошад. Ба нуктаҳои нонвариантии ҳосилшуда маҷмӯи зерини фазаҳои саҳти мувозинатӣ мувофиқат мекунад: $E_6^4 = K \cdot Ca + K \cdot 1,5 + Ca \cdot Mg$; $E_7^4 = Ca \cdot Mg + M \cdot 3 + K \cdot 1,5$ ва $E_8^4 = Сс + K \cdot Ca + Ca \cdot Mg$.

Системаи $K, Mg // SO_4, CO_3-H_2O$

Ин системаи чоркомпонентаи системаҳои секомпонентаи зеринро дар бар мегирад: $K, Mg // SO_4-H_2O$; $K // SO_4, CO_3-H_2O$; $Mg // SO_4, CO_3-H_2O$ ва $K, Mg // CO_3-H_2O$. Дар системаи секомпонентаи $K, Mg // SO_4-H_2O$ ду нуктаи нонварианти бо фазаҳои саҳти мувозинатии зерин хос аст: $Ар + Ше$; $Ше + Эпс$. Дар зерсистемаҳои секомпонентаи боқимонда, ки мувозинатҳои фазагии онҳо ба таври таҷрибавӣ омӯхта нашудаанд, нуктаҳои нонварианти ба таври эфтоникӣ қабулшудаанд ва барои онҳо яктогӣ нуктаи нонварианти бо чунин фазаҳои саҳти мувозинати хос аст: $Ар + K \cdot 1,5$; $Эпс + M \cdot 3$ ва $K \cdot 1,5 + M \cdot 3$. Транслятсияи нуктаҳои нонвариантии секомпонента ба сатҳи чоркомпонента боиси ҳосилшавии нуктаҳои нонвариантии чоркомпонентаи зерин бо

фазаҳои сахти мувозинатӣ мегардад: $E_9^4 = \text{Ше} + \text{К} \cdot 1,5 + \text{М} \cdot 3$; $E_{10}^4 = \text{Ар} + \text{Ше} + \text{К} \cdot 1,5$ ва $E_{11}^4 = \text{Ше} + \text{Эпс} + \text{М} \cdot 3$.

Системаи Са, Mg // SO₄, CO₃-H₂O

Системаи мазкур дар таркиби худ системаҳои секомпонентаи зеринро дар бар мегирад: Са, Mg // SO₄-H₂O; Са, Mg // CO₃-H₂O; Са // SO₄, CO₃-H₂O ва Mg // SO₄, CO₃-H₂O. Барои зерсистемаи Са, Mg // CO₃-H₂O фазаҳои сахти мувозинатҳои зерин хос мебошанд: Са·Mg + Сс ва М·3 + Са·Mg. Барои се зерсистемаи боқимонда бошад, ба ҳар кадом як нуқтаи нонварианти хос аст, ки бо фазаҳои сахти зерин тавсиф карда мешаванд: Эпс + Гп; Гп + Сс ва Эпс + М·3. Дар натиҷаи табиқи усули транслятсия, нуқтаҳои нонвариантии зикршудаи системаҳои секомпонента ба сатҳи системаҳои чоркомпонента интиқол ёфта, нуқтаҳои нави нонвариантии зерин ба вуҷуд меоранд: $E_{12}^4 = \text{Эпс} + \text{Са} \cdot \text{Mg} + \text{М} \cdot 3$; $E_{13}^4 = \text{Гп} + \text{Эпс} + \text{Са} \cdot \text{Mg}$ ва $E_{14}^4 = \text{Гп} + \text{Сс} + \text{Са} \cdot \text{Mg}$.

Системаи К, Са//SO₄, CO₃-H₂O

“Барои муайян намудани мувозинатҳои фазагии системаи К, Са//SO₄, CO₃-H₂O дар ҳарорати 25°C аз маълумотҳои мувозинатии системаҳои секомпонентаи он К//SO₄, CO₃-H₂O; К, Са//SO₄-H₂O; Са//SO₄, CO₃-H₂O; К, Са//CO₃-H₂O истифода бурда шуд” [89. с.165]. Барои дутои ин зерсистемаҳо ба ҳар кадоме яктогӣ нуқтаи нонварианти хос буда барои дутои дигарашон ду нуқтаи нонварианти хос аст. Фазаҳои сахти дар мувозинатбудаи онҳо чунин аст: Ар+К·1,5; Ар+Сн; Сн+Гп; Гп+Сс; К·1,5+К·Са ва Сс+К·Са.

Ҳалшавандагӣ дар системаи К, Mg, Са//SO₄-H₂O барои ҳарорати 25°C

Бинобар сабаби мавҷуд набудани маълумот оид ба ҳалшавандагии системаи мазкур дар ҳарорати 25°C, аз ҷониби мо таҳқиқи он бо истифода аз усули транслятсия гузаронида шудабори аввал диаграммаи схемавии фазагии он сохта шуд. Маълумоти таҷрибавӣ оид ба ҳалшавандагӣ дар нуқтаҳои нонвариантии системаи чоркомпонентаи обӣ-намакӣ дар асоси таҳқиқи таҷрибавии мувозинатҳои фазагии он дар ҳарорати 25°C оварда шуданд.

Дар ин системаи чоркомпонентаи обӣ-намакӣ дар ҳарорати 25°C фазаҳои сахти зерин кристаллизатсия мешаванд: Ар-арканит (K₂SO₄); Ше-шенит (K₂SO₄·MgSO₄·6H₂O); Сн-сингенит (K₂SO₄·СаSO₄·H₂O); Гп-гипс (СаSO₄·2H₂O) ва М·12 (MgSO₄·12H₂O).

Барои гузаронидани таҷриба аз намакҳои зерин истифода бурда шуд: СаSO₄·2H₂O (аз ҷиҳати химиявӣ тоза); MgSO₄·7H₂O (аз ҷиҳати химиявӣ тоза); K₂SO₄ (тоза).

Гузаронидани таҷрибаҳо мувофиқи нақшаи таҳқиқотӣ амалӣ карда шуд. Барои омехтани маҳлулҳо аз омехтакунаки магнитии тамгаи РД-9 истифода намудем. Кристаллизатсияи фазаҳои сахт тавассути микроскопи Микромед С 11 мушоҳида карда шуда, пас аз ба мувозинат

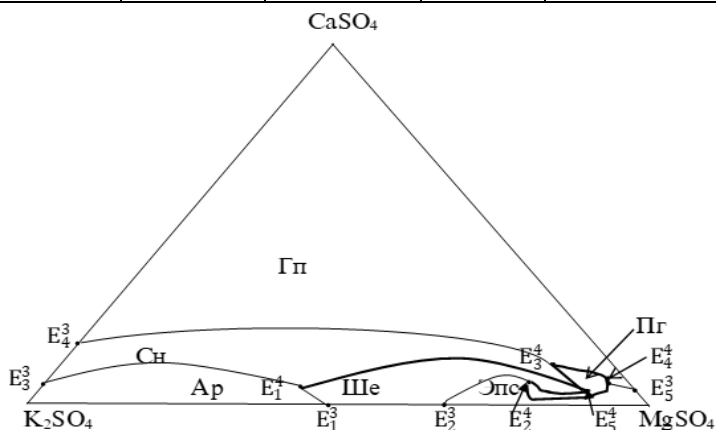
омадан, фазаҳои сахт тавассути суратгираки «SAMSUNG A-55» аксбардорӣ карда шуд. Баробарӣ ва эквивалентии системаҳои тадқиқшаванда бо тағйирёбии таркиби фазаҳои кристаллизатсияшуда бар асоси мушоҳидаҳои микроскопӣ муайян намудем. Фазаҳои сахт ва моеъро аз ҳамдигар тавассути кифи Бюхнер, ки ба ҳавокаши вакуумӣ пайваста аст чудо намудем. Баъдан фазаи сахтро бо спирти этили 96% шуста, дар ҳарорати 120 °C хушк намудем.

Барои гузаронидани таҳлилҳои химиявӣ ин системаҳо усулҳои маъмул истифода гардид ва барои муайян кардани таркиби фазаҳо аз усулҳои кристаллооптикоӣ истифода бурда шуд.

Натиҷаҳои ҷамъбастии таҳлилҳои химиявӣ ин система дар ҷадвали 5 оварда шудаанд. Дар инҷо барои системаҳои секомпонентагӣ аз маълумотҳои адабиёти истифода карда шудааст.

Ҷадвали 5. – Ҳалшавандагӣ дар нуқтаҳои нонвариантии системаи $K, Mg, Ca// SO_4-H_2O$ барои ҳарорати 25°C

	Таркиби фазаи моеъ, бо %				Фазаҳои сахти мувозинатӣ
	K_2SO_4	$MgSO_4$	$CaSO_4$	H_2O	
e_1	11,67	-	-	88,33	Ар
e_2	-	26,70	-	73,30	Эпс
e_3	-	-	0,33	99,67	Гп
E_1^3	10,75	12,80	-	76,75	Ар+ Ше
E_2^3	4,95	26,05	-	69,00	Ше+ Эпс
E_3^3	7,55	-	0,04	92,41	Ар+Сн
E_4^3	3,17	-	0,16	96,67	Сн+Гп
E_5^3	-	19,85	0,12	80,03	Гп+Эпс
E_1^4	11,90	11,2	0,03	76,87	Ар+Сн+Ше
E_2^4	3,60	27,00	0,06	69,34	Ше+Эпс+Пг
E_3^4	3,40	26,20	0,02	70,38	Сн+Гп+Пг
E_4^4	2,50	26,50	0,08	70,92	Эпс+Пг+Гп
E_5^4	2,40	26,80	0,03	70,77	Сн+Пг+Ше



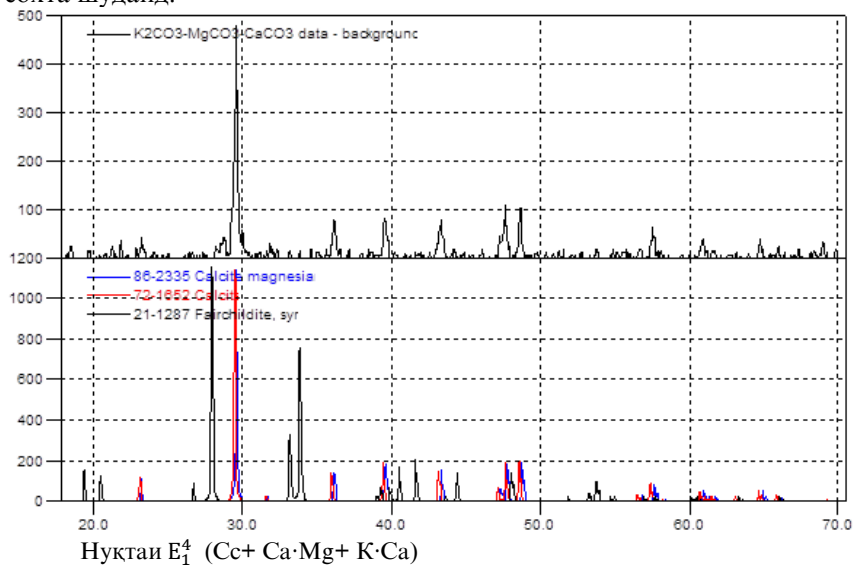
Расми 7. – Қисми намакии диаграммаи ҳалшавандагии системаи $K, Mg, Ca//SO_4-H_2O$ дар ҳарорати 25°C

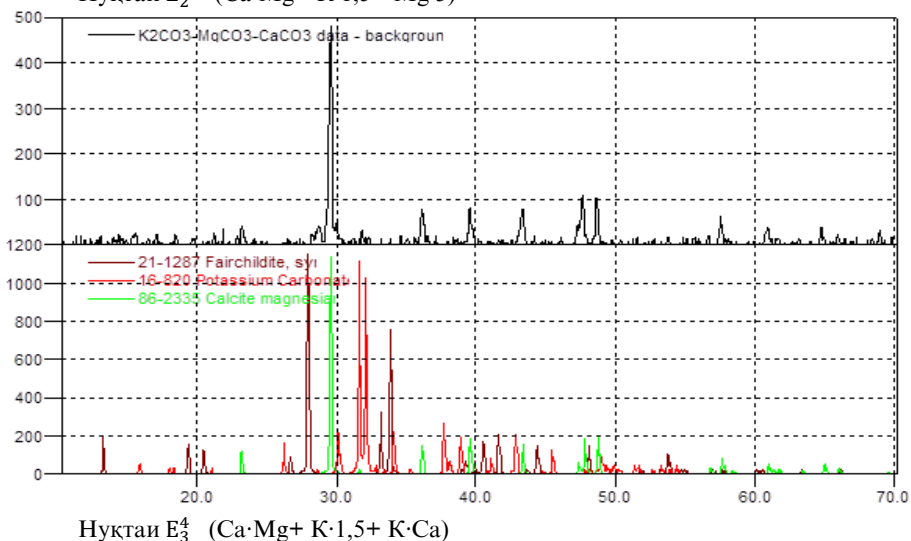
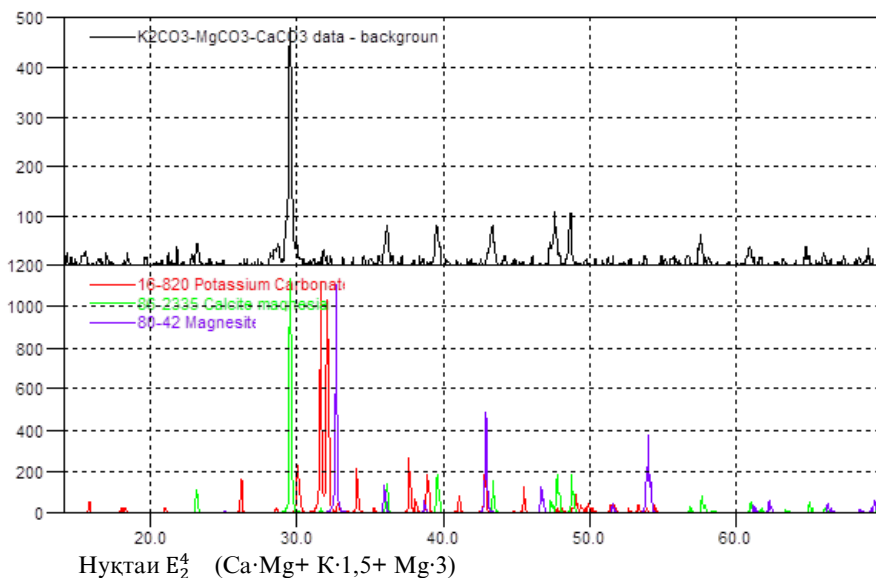
Таҳлили расми 7 нишон медиҳад, ки минтакаи кристаллшавии гипс аз рӯи андоза назар ба минтақаҳои дахлдори дигар намакҳои система (K_2SO_4 ва $MgSO_4 \cdot 12H_2O$) хеле калонтар аст. Ин далел ҳалшавии нисбатан пастии гипсро тасдиқ мекунад, ки ҳатто бо баланд шудани ҳарорат то $25^\circ C$ қариб тағйир намеёбад.

Таҳқиқи ҳалшавандагии системаи $K, Mg, Ca // CO_3-H_2O$ барои ҳарорати $25^\circ C$

Барои ин система дар ҳарорати $25^\circ C$ фазаҳои саҳти мувозинати инҳоянд: $CaCO_3$ - калсит (Cc); $K_2CO_3 \cdot 1,5-(K \cdot 1,5)$; $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ - доломит (Ca·Mg) $MgCO_3 \cdot 3H_2O$ -магнезит (Mg·3); $K_2CO_3 \cdot CaCO_3$ -(K·Ca). Натиҷаҳои таҳлилҳо нишон медиҳанд, ки таркиби маҳлулҳои сершуда вобаста ба маҷмӯи фазаҳои саҳти мувозинатӣ хусусиятҳои фарқкунанда доранд. Махсусан ҳалшавандагии $CaCO_3$ дар фазаи моеъ хеле кам буда $0,004\%$ - ро ташкил медиҳад. Барои $MgCO_3$ ҳалшавандагии $0,022\%$ муайян гардидааст. Дар муқоиса бо онҳо ҳалшавандагии K_2CO_3 хеле зиёд буда $52,740\%$ - ро ташкил медиҳад. Барои санҷиши таркиби кристаллии таҳшинҳо таҳлили рентгенофазавӣ гузаронида шуд. Дифраатограммаҳои бадастомада (расми 8) барои мушаххас намудани фазаҳои саҳти мувозинатӣ истифода гардиданд.

Дар асоси маълумотҳои таҷрибавӣ, бори аввал диаграммаи ҳалшавандагӣ ва диаграммаҳои устувории марҳилаҳои намакӣ барои системаи чоркомпонентии $K, Mg, Ca // CO_3-H_2O$ дар ҳарорати $25^\circ C$ сохта шуданд.





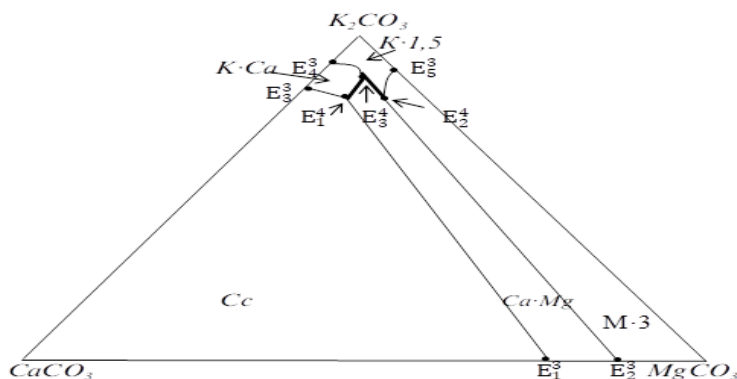
Расми 8. – Дифрактограммаи фазаҳои сахти мувозинатии системаи K,Mg,Ca // CO₂-H₂O дар ҳарорати 25 °C

Ин диаграмма бо истифода аз координатаҳо дар шакли серкунҷаи баробарпахлӯ тасвир ёфта имкон медиҳад, ки робитаи байни компонентҳои системаи тадқиқшаванда ва муайян кардани минтақаҳои мавҷудияти фазаҳои алоҳидаи намак, инчунин вобастагии онҳо аз

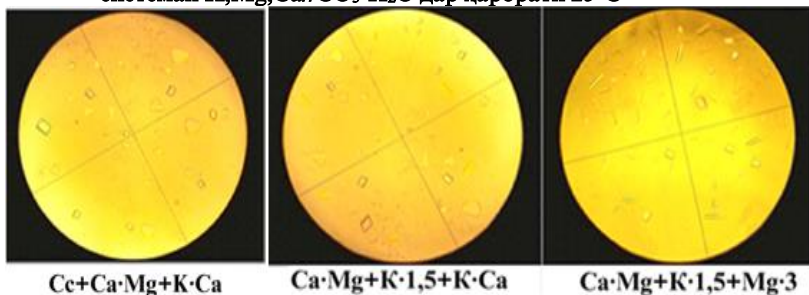
дараҷаи ҳалшавандагӣ ба таври равшан нишон дода шаванд.

Метавон гуфт, ки дар диаграммаҳои ҳалшавандагии ин система ҳаҷм ва майдони кристаллизатсияи калсит ҳатто бо баланд шудани ҳарорат тағйир намеёбад. Ин аз камҳалшаванда будани он шаҳодат медиҳад.

Дар расми 9 қисми намакии диаграммаи сохташудаи ҳалшавандагӣ, ки дар шакли секунҷаи баробарпахлӯ тасвир шудааст ва дар расми 10 микроаксҳои фазаҳои саҳти мувозинатӣ, ки дар системаи мавриди таҳқиқ дар шароити мувозинати фазавӣ муайян гардидаанд, оварда шудаанд.



Расми 9. – Сохтори қисми намакии диаграммаи ҳалшавандагии системаи К, Mg, Ca//CO₃-H₂O дар ҳарорати 25°C



Расми 10. – Аксҳои кристаллҳои фазаҳои саҳти мувозинатии системаи К, Mg, Ca//CO₃-H₂O, дар ҳарорати 25 °C

ХУЛОСАҲОИ УМУМӢ

1. Бо усули транслятсия қонуниятҳои мувозинатҳои фазагии системаи К, Mg, Ca//SO₄, CO₃-H₂O дар ҳароратҳои 0 ва 25°C муайян карда шуданд. Дар ин замина ҳолати фазагӣ ва робитаи байни компонентҳо дар зерсистемаҳои дахлдори чоркомпонента таҳқиқ гардида, қонуниятҳои ташаккули муносибатҳои фазагӣ ҳангоми

гузариш аз системаҳои дорои шумораи камтари компонентҳо ба системаҳои мураккабтар ошкор карда шуданд [3 – М, 5 – М, 6 – М].

2. Муқоисаи сохтори геометрии диаграммаҳои мувозинатҳои фазагӣ дар ҳароратҳои 0 ва 25 °С нишон медиҳад, ки бо баландшавии ҳарорат комплекси фазагии система мураккабтар мегардад. Шумораи нуқтаҳои нонварианти аз 9 то 13; хатҳои моноварианти аз 25 то 35 ва майдонҳои диварианти аз 22 то 32 зиёд мешавад. Ҳамин тавр, ҳангоми гузариш аз ҳарорати 0 ба 25°С афзоиши шумораи элементҳои геометрии диаграмма мушоҳида мегардад, ки он дар асоси қонуниятҳои таҳлили физико-химиявӣ муайян карда шудааст [2 – М, 6 – М].

3. Бо таъя ба қонуниятҳои гузариш аз системаҳои камкомпонента ба системаҳои мураккаб, бори аввал диаграммаҳои мувозинатҳои фазагии системаи панҷкомпонентии $K, Mg, Ca/ SO_4, CO_3-H_2O$ шуда ба фрагментҳои алоҳида ҷудо карда шуданд. Чунин усул барои сохтани диаграммаҳои фазагии чоркомпонентаи $K, Mg, Ca/ SO_4-H_2O$; $K, Mg, Ca/ CO_3-H_2O$; $K, Mg/ SO_4, CO_3-H_2O$; $Ca, Mg/ SO_4, CO_3-H_2O$ ва $K, Ca/ SO_4, CO_3-H_2O$ дар ҳароратҳои таҳқиқшуда низ истифода бурда шуд [4 – М, 5 – М, 6 – М, 10 – М].

4. Таҳқиқи таҷрибавии ҳалшавандагии системаҳои $K, Mg, Ca/ SO_4-H_2O$ ва $K, Mg, Ca/ CO_3-H_2O$ имконият фароҳам оварданд, ки оид ба таркиби фазаҳои мувозинатӣ дар ҳароратҳои 0 ва 25°С маълумот ба даст оварда шавад. Дар асоси натиҷаҳои ҳосилшуда мавқеи нуқтаҳои ҳоси мувозинат муайян гардида, диаграммаҳои ҳалшавандагии ҳар ду системаи чоркомпонента сохта шуданд, ки хусусиятҳои фазаҳосилшавии онҳоро дар ҳароратҳои таҳқиқшуда инъикос менамоянд [8 – М, 9 – М].

5. Ҳалшавандагии системаҳои химиявии се ва чоркомпонентаи $K, Mg, Ca/ SO_4-H_2O$ ва $K, Mg, Ca/ CO_3-H_2O$ барои ҳароратҳои 0 ва 25°С таҳқиқ карда шуд, таркиби фазавии онҳо тавассути таҳлили химиявӣ ва рентгенофазагӣ санҷида шуда, микроакси кристаллҳои ҳосилшуда пешниҳод гардиданд [1 – М, 8 – М, 9 – М].

ТАВСИЯҲО ОИД БА НАТИҶАИ ДИССЕРТАТСИЯ

Маълумоти бадастомада аз омӯзиши мувозинатҳои фазагӣ дар системаи $K, Mg, Ca/ SO_4, CO_3-H_2O$ тавассути методи транслятсия метавонанд ҳамчун манбаи илмӣ ва маълумотномавӣ барои тавсифи ҳолати фазавии системаҳои бисёркомпонентаи обӣ – намакӣ хизмат кунад. Қонуниятҳои муайяншудаи фазаҳосилшавӣ ва тағйирёбии таркиби фазавӣ имконият медиҳанд, ки рафтори компонентҳои системаи мазкур дар шароити гуногуни мувозинатӣ пешгӯӣ карда шавад. Натиҷаҳои бадастомада инчунин метавонанд барои интиҳоби шароити мусоиди технологияи коркарди ашёи хоми полиминералии табиӣ ва техногенӣ, аз ҷумла партовҳои саноатии дорои сульфатҳо ва

карбонатҳои калий, магний ва калсий, ҳамчун заминаи илмӣ хизмат намоянд. Ба таркиби системаи таҳқиқшаванда фазаҳои саҳти зерин дохил мешаванд: шенит ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$), полигалит ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$), эпсомит ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), сингенит ($K_2SO_4 \cdot CaSO_4 \cdot H_2O$), гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), арканит (K_2SO_4), калсит ($CaCO_3$), магнезит ($MgCO_3 \cdot 3H_2O$) доломит ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$), М-12 ($MgSO_4 \cdot 12H_2O$), намаки дучандаи К-Са ($K_2CO_3 \cdot CaCO_3$), инчунин кристаллогидратҳои К-1,5 ($K_2CO_3 \cdot 1,5H_2O$) ва К-2 ($K_2CO_3 \cdot 2H_2O$). Ин пайвастиҳои дар амалия истифодаи васеъ доранд: шенит ва полигалит – дар соҳаи кишоварзӣ ҳамчун нурии калийию магнийдор барои баланд бардоштани ҳосилокӣ ва беҳтар намудани таркиби хок истифода мешаванд; эпсомит – дар соҳаи тиб барои омода намудани ваннаҳои табобатӣ, ором кардани мушакҳо ва хастагӣ истифода мегардад; сингенит ва арканит – манбаи хуби калий ва сулфатанд, ки дар соҳаи кишоварзӣ ҷиҳати баландбардоштани ҳосилокӣ истифода мешаванд; гипс ва калсит бошанд дар саноати сохтмон барои истехсоли семент, андова ва омехтаҳои сохтмонӣ васеъ истифода мегарданд; доломит дар соҳаи шишабарорӣ, сохтмон ва хиштҳои ба ҳарорати баланд тобовар истифода карда мешаванд; магнезит ($MgCO_3 \cdot 3H_2O$), ($MgSO_4 \cdot 12H_2O$), инчунин карбонатҳои калию калсий - $K_2CO_3 \cdot CaCO_3$ ва $K_2CO_3 \cdot nH_2O$ (бо дараҷаҳои гуногуни гидротатсия) – дар саноати химия, истехсоли шиша ва инчунин хангоми тайёр кардани маҳлулҳои буферӣ истифодаи васеъ доранд.

Корхонаҳои саноатие, ки дар онҳо чунин намакҳо ҳосил мешаванд ё истифода мегарданд маълумотҳои дар диссертатсия овардашударо барои таҳияи технологияҳои коркарди такрории партовҳои намакдор ва истифодаи оқилонаи захираҳои табиӣ истифода намоянд.

ФЕҲРИСТИ ИНТИШОРОТ АЗ РҶӢИ МАВЗУИ ДИССЕРТАТСИЯ

Мақолаҳои дар маҷаллаҳои илмӣ тавсияшудаи КОА-и назди

Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон нашршуда:

[1-М]. Умаралии, С. Разработка энергоэффективной технологии разделения многокомпонентной водно – сульфатной системы $K_2SO_4 - CaSO_4 - Al_2(SO_4)_3 - H_2O$ на основе температурно-индуцированной кристаллизации / П.А. Мухторов, М.Б. Усмонов, С. Умаралии, Х. Курбанова, Х.И. Холов // Политехнический журнал. Серия: Инженерные исследования. -2025, -№ 4 (72). С. 60 – 65.

[2-М]. Умаралии, С. Метод трансляции для построения фазовых диаграмм в многокомпонентных водно – солевых системах на примере $K, Mg, Ca//SO_4, CO_3-H_2O$ / С.Умаралии, М.Б.Усмонов, П.А. Мухторов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Санкт-Петербург -2025. -№2. –С. 120-127.

[3-М]. Умаралии, С. Мувозинатҳои фазагии системаи $Mg, Ca// SO_4, CO_3 - H_2O$ дар ҳарорати $0^{\circ}C$. Л. Солиев, М.Б. Усмонов, С.Умаралии, Б. Ҷабборзода // Пайёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. -2020. -№3. –С. 229 -234.

[4-М]. Умаралии, С. Мувозинатҳои фазагии системаи $K_2CO_3-MgCO_3-CaCO_3-H_2O$ дар ҳарорати $25^{\circ}C$ / С.Умаралии, М.Б. Усмонов // Паёми Донишгоҳи омӯзгорӣ. Бахши илмҳои табиӣ. -2021. -№1(10-11). –С.130-136.

[5-М]. Умаралии, С. Мувозинатҳои фазагии системаи панҷкомпонентаи $K, Mg, Ca// SO_4, CO_3 - H_2O$ дар ҳарорати $25^{\circ}C$ / С.Умаралии // Пайёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. -2022. -№1. –С. 223-233.

[6-М]. Умаралии, С. Муайянсозии мувозинатҳои фазагии системаи панҷкомпонентаи $K, Mg, Ca// SO_4, CO_3 - H_2O$ дар ҳарорати $0^{\circ}C$ / С.Умаралии, М.Б. Усмонов // Пайёми политехникӣ. Бахши татқиқотҳои муҳандисӣ. - №4(60). -2022. –С.72-79.

[7-М]. Умаралии, С. Таҳлили муқоисавии мувозинатҳои фазагӣ ва диаграммаи системаи $K_2CO_3-MgCO_3-CaCO_3-H_2O$ дар ҳароратҳои 0 ва $25^{\circ}C$ / С.Умаралии, М.Б. Усмонов // Паёми Донишгоҳи омӯзгорӣ. Бахши илмҳои табиӣ. -2023. -№4(20). –С.93-99.

[8-М]. Умаралии, С. Ҳалшавандагӣ ва мувозинатҳои фазагии системаи обӣ-намакии карбонатҳои калий, магний ва кальсий барои ҳарорати $25^{\circ}C$ / С.Умаралии, М.Б. Усмонов // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. -2024. -№3. –С. 183-192.

[9-М]. Умаралии, С. Ҳалшавандагии системаи обӣ -

намакии сулфатҳои калий, магний, кальций барои ҳарорати 0°C / **С.Умаралӣ**, П. А. Мухторов, М.Б. Усмонов // Паёми Донишгоҳи омӯзгорӣ. Бахши илмҳои табиӣ. -2024. -№4. – С.104-110.

[10-М]. **Умаралии, С.** Исследованье фазовых равновесий в системе $\text{K,Al//SO}_4\text{,F-H}_2\text{O}$ при 25°C с использованием метода трансляции / П. А. Мухторов, **С.Умаралӣ**, М.Б. Усмонов // Известия НАНТ. -2025. -№1 (198). –С.178-186.

Фишурдаи маърузаҳо дар конференсияҳои байналхалқӣ ва ҷумҳуриявӣ

[11-М]. **Умаралии, С.** Фазовые равновесия системы, $\text{K}_2\text{SO}_4\text{-MgSO}_4\text{-CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$ при 0°C / Л. Солиев, **С.Умаралии**, А. Тошов // Материалы международной конференции теплофизической школы. –М.Тамбов. -6. -11.10.2015. –С. 418-424.

[12-М]. **Умаралии, С.** Строение фазового комплекса системы $\text{K}_2\text{SO}_4\text{-MgSO}_4\text{-CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$ при 0 и 25°C / А. Тошов // Байкальский материаловедческий форум. –Улан –Уде, -2018. –С. 108-111.

[13-М]. **Умаралии, С.** Фазовые равновесия системы $\text{K.Mg//SO}_4\text{ CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ при 25°C / Л. Солиев, **С.Умаралии**, Б. Чаборзода // Международный научный журнал. «Символ науки». -2018. –С.11-15.

[14-М]. **Умаралии, С.** Строение фазового комплекса водно-солевой системы из сульфатов и карбонатов калия, кальция при 0°C / Л. Солиев, **С.Умаралии**, Г. Сино // Международный научный журнал. «Символ науки». -2019. –С.12-16.

[15-М]. **Умаралии, С.** Мувозинатҳои фазагии системаи $\text{K,Ca// SO}_4\text{,CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 25°C / Л. Солиев, **С.Умаралӣ** // Материалы IV. Международной научно-практической конференции. –Астана. -2019. -С 336-340.

[16-М]. **Умаралии, С.** Таҳлили муқоисавии мувозинатҳои фазагии системаи $\text{K,Ca// SO}_4\text{,CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳароратҳои 0 ва 25°C / Л. Солиев, **С.Умаралӣ** //

Конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ «Таҳқиқи таълими тафриқа» . –Душанбе. -2019 . –С. 164-167.

[17-М]. **Умаралии, С.** Таҳлили муқоисавии мувозинатҳои фазагии системаи $Mg,K// SO_4,CO_3 - H_2O$ дар ҳароратҳои 0 ва 25°C / Л. Солиев, **С.Умаралӣ, Б. Ҷабборзода** // Международной научно практической конференции «Наука и образование в современном мире: ВЫЗОВЫ XXI века». -Нур-султан, -Казахстан. -2019. -С.135-138.

[18-М]. **Умаралии, С.** Таҳлили муқоисавии мувозинатҳои фазагии системаи $Mg,Ca// SO_4,CO_3 - H_2O$ дар ҳароратҳои 0 ва 25°C / Л. Солиев, **С.Умаралӣ** // Конференсияи Ҷумҳуриявии илмию амалӣ дар мавзӯи «Заминаҳои рушд ва дурнамои илми химия» дар Ҷумҳурии Тоҷикистон, Башида ба 60-солагии факултети химия. – Душанбе. -2020. –С.41-44.

[19-М]. **Умаралии, С.** Муайянсозии мувозинатҳои фазагии системаи $K_2CO_3-MgCO_3-CaCO_3-H_2O$ дар ҳарорати 25°C / **С.Умаралӣ, М.Б.Усмонов**

Маводи конференсияи илмӣ- методии байналмилалӣ дар мавзӯи «Нақши илмҳои табиӣ риёзӣ ва методикаи таълими онҳо дар раванди саноатикунонии бо суръати кишвар» Бахшида ба амали гардонии «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илмӣ маориф (солҳои 2020-2040)». -Душанбе . -2022. –С. 338-380.

[20-М]. **Умаралии, С.** Строение фазового комплекса системы $Mg,Ca// SO_4,CO_3 - H_2O$ при 0°C / **С.Умаралӣ, М.Б.Усмонов** // Материалы всероссийской научной конференции смеждународным участием. Байкальский материаловедческий форум. –Улан-Уде. -2022. –С.172-174.

[21-М]. **Умаралии, С.** Мувозинатҳои фазагии системаи панҷкомпонентаи $K,Mg,Ca//SO_4,CO_3 - H_2O$ дар ҳарорати 0°C / **С.Умаралӣ, М.Б.Усмонов** // Маводи конференсияи илмӣ- назариявии баналмилалӣ дар мавзӯи «Рушди илмҳои химия, технология ва экология». -Душанбе. -2023. –С. 107-110

[22-М]. **Умаралии, С.** Фазовые равновесия системы сульфатов и карбонатов калия, магния, кальция при 25°C / **С.Умаралӣ, М.Б.Усмонов** // Материалы международной научно-практической конференции по теме «Актуальные проблемы химической науки промышленности». –Фаргона. -2023. -С.24-28.

[23-М]. **Умаралии, С.** Фазовые равновесия системы сульфатов и карбонатов калия, магния, кальция при 0 °С **С.Умаралӣ, М.Б.Усмонов** // 88-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Белорусского государственного технологического университета. -2024. - С.114-117.

[24-М]. **Умаралии, С.** Сроение фозового комплекса системы из сульфатов и карбонатов калия, кальция при 0 и 25°C / **С.Умаралӣ, М.Б.Усмонов** // Международная конференция «Химическая и образование, проблемы и перспективы развития» Дегистанский государственный педагогический университет им. Р. Гамзатова. –Махачкала. -2024. -С.90-93.

[25-М]. **Умаралии, С.** Диаграммаи ҳалшавандагии системаи обӣ- намакии сульфатҳои калий, магний, калсий барои ҳарорати 0°C / **С.Умаралӣ, М.Б.Усмонов, П. А. Мухторов** // Маҷмуи маводҳо Хонишҳои XIX Нӯъмоновӣ «Рушди кимиё бунёди ва амалӣ ва сахми он дар саноатикунонии кишвар». –Душанбе. -2024. –С.156-160.

[26-М]. **Умаралии, С.** Диаграммаи ҳолатии системаи K,Mg,Ca//SO₄-H₂O барои ҳарорати 25°C аз рӯи далелҳои ҳалшавандагӣ / **С.Умаралӣ, М.Б.Усмонов** // «Вазъи кунунӣ ва дурнамои таҳлили физико–химиявӣ», бахшида ба элон гардидани ҳадафи чоруми стратегӣ–саноатикунонии кишвар, солҳои 2022–2026. – Душанбе. -2025. –С. 127-130.

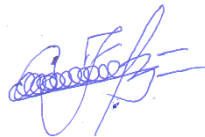
**ТАДЖИКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ.
САДРИДДИНА АЙНИ**

На правах рукописи

УДК: 546.32+546.46+546.266

ББК: 24.1+24.121+24.122

С - 33



УМАРАЛИ САФАРАЛИ

**РАСТВОРИМОСТЬ И ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ
ВОДНО – СОЛЕВОЙ СИСТЕМЫ СУЛЬФАТОВ,
КАРБОНАТОВ, КАЛИЯ, МАГНИЯ И КАЛЬЦИЯ ПРИ 0
И 25 °С**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой
степени кандидата химических наук по специальности
1.4.2. Неорганическая химия

Душанбе – 2026

Диссертация выполнена в научно-исследовательской лаборатории «Исследование многокомпонентных систем методом трансляции им. заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, доктора химических наук, профессора Лутфулло Солиева» при кафедре «Общей и неорганической химии» Таджикского государственного педагогического университета им. Садриддина Айни.

**Научный
руководитель:**

Усмонов Мухаммадсалим Бозорович –
кандидат химических наук, доцент

**Официальные
оппоненты:**

Абулхаев Владимир Джалолович, доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией «Химия гетероциклических соединений» Института химии имени В. И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана

Акрамзода Рустами Джурахон — доктор философии (PhD), доктор по специальности 6D060600 — Химия (6D060601 — Неорганическая химия), заведующий кафедрой химии Таджикского аграрного университета имени Шириншоха Шохтемура.

**Ведущая
организация:**

**Таджикский технический университет
имени академика М. С. Осими.**

Защита диссертации состоится «08» декабря 2026 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 6D.KOA–136 при Таджикском национальном университете.

Адрес: 734025, г. Душанбе, проспект Рудаки, 17. Таджикский национальный университет, главный корпус, зал диссертационного совета, 2 этаж. E-mail: tojiddin_8989@mail.ru, телефон: (992)936002805, факс: (992-372)217711.

С диссертацией можно ознакомиться в центральной библиотеки Таджикского национального университета и сайте www.tnu.tj

Автореферат отправлен “ ____ ” _____ 2026 г.

Учёный секретарь,
к.х.н. доцент



Бобокалонов Т.Б.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Одно из ключевых решение задач проблемы переработки природных материалов и материалов техногенного характера является изучение многокомпонентного сложного состав минералов, с помощью их водно-солевых растворов имеющие теоретическую и практическую, а также экологическую значимость. Только при переработки сложного полиминерального сырья в отдельные оптимальные условия в среде водно-солевых систем можно получить новые, достоверные результаты соответствующих к научному исследованию.

Изучение закономерности протекание фазовые равновесия в многокомпонентные системы в определённых условий методом трансляции привели к минимальным затратам энергии и времени, а также ее возможность восстановление и широко использование методы рационального использование природных ресурсов.

Многокомпонентные систем подлежащие к исследованию, является природные объекты, как горные породы, рудные и нерудные минеральные сырья, а также вещества техногенного происхождение. Такие природные объекты является основам не только исследовательской работы отрасли химии, но и петрологии, минералогии, геологии, а также почвоведение.

Диссертационное исследование обладает не только теоретической и научной значимостью, но и имеет важную практическую ценность. Приобретённые результаты как источник информации используется для переработки отходов производств, т том числе отходов производство алюминия, имеющих в свой состав данных солей.

Степень изученности научной проблемы. Основоположником теории фазовых равновесий в химических системах является Д. В. Гиббс, который впервые сформулировал условия химического равновесия и предложил правило фаз. Существенный вклад в развитие теоретических основ физико-химического анализа внёс Н. С. Курнаков, определивший его как самостоятельное направление науки. Им впервые были сформулированы основные задачи “физико-химического анализа, направленные на изучение взаимосвязи между составом и измеряемыми свойствами химических систем, что позволяет строить их диаграммы состояния” [7, с.7]. “Развитие теории и методов исследования химических систем, включая многокомпонентные, получило дальнейшее развитие в трудах таких учёных, как В. Н. Лодочников, В. П. Радищев, В. Я. Аносов, Д. С. Коржинский, Ф. М. Перельман, В. А. Жариков, В. И. Посыпайко, Я. Г. Горощенко, А. С. Трунин, Л. Солиев и других исследователей” [50, с.3]. Несмотря на достигнутые успехи, “теория и методы исследования химических систем, особенно многокомпонентных водно-солевых систем, нуждаются в дальнейшем совершенствовании, поскольку многие важные

аспекты этой проблемы остаются недостаточно изученными. Основные трудности при исследовании многокомпонентных химических систем связаны с тем, что существующие методы не всегда позволяют наглядно отразить сложные системы в виде трёхмерных геометрических фигур. Проведение экспериментальных работ требует значительных временных и материальных затрат, а также сопряжено с трудностями при определении твёрдых фаз, находящихся в равновесии» [50, с.6].

Анализ и имеющейся литературы показал, что пятикомпонентная водно-солевая система сульфатов и карбонатов калия, магния и кальция при температурах 0 и 25 °С до настоящего времени не была комплексно исследована фазовые равновесия и растворимость не описаны в полном объёме.

Связь исследования с программами (проектами) или научными темами. Содержание диссертационной работы соответствует требованиям нормативно-правовых документов, включая «Стратегию обучения и развития математических, естественных и точных наук в сфере образования и науки на период до 2030 года» (Постановление Правительства Республики Таджикистан от 30 апреля 2021 г., № 165), а также Государственную программу «Двадцатилетие изучения и развития естественно-научных, точных и математических дисциплин в области науки и образования на 2020–2040 годы». Работа выполнена в рамках реализации тематического государственного исследовательского проекта «Физико-химическое изучение систем, образованных сульфатами, фторидами натрия, магния, кальция и алюминия с водой, в аспекте экологического совершенствования», регистрационный номер РБ № 0125TJ700.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования. Выявление закономерности растворимости фазовые превращений в водно – солевых многокомпонентных систем сульфатов, карбонатов калия, магния, кальция и установление состав фазовых равновесий четырёхкомпонентных систем при температуре 0 и

Задачи исследования. Чтобы достичь этой цели были выполнено следующие задание:

- изучение закономерности фазовые равновесия в пятикомпонентных водно-солевых систем, обхватывающей сульфатов и карбонатов калия, магния и кальция при температуре 0 и 25°C;
- на основании сведения о состав составляющих фазовых подсистем, расследование равновесных положений по поверхностей трёх – и четырёхкомпонентов и построить фазовые диаграммы соответственно для температуре 0 и 25°C;
- создание диаграммы упрощенного изображения фазовые

равновесий в системе $K, Mg, Ca // SO_4, CO_3-H_2O$ при температуре 0 и 25°C, на основе закономерностей перехода от низкокомпонентных систем к уровня многокомпонентных систем;

- для установления взаиморасположение и границей кристаллизации твёрдых фаз равновесий дивариантных полей, устанавливая их сопредельный свойств и предложить отдельные части диаграммы исследуемых фазовых систем;

- с помощью эксперимента изучение растворимости четырёхкомпонентных систем $K, Mg, Ca // CO_3-H_2O$ и $K, Mg, Ca // SO_4-H_2O$ при температуре 0 и 25°C, определение состав жидких и твёрдых фаз равновесий и на основе полученных информации создать диаграммы растворимости этих систем.

Объект исследования. Пятикомпонентная водно-солевая система, состоящая из сульфатов и карбонатов калия, магния и кальция, а также её четырёхкомпонентные подсистемы: $K, Mg, Ca // SO_4-H_2O$; $K, Mg, Ca // CO_3-H_2O$; $K, Mg // SO_4, CO_3-H_2O$; $Ca, Mg // SO_4, CO_3-H_2O$; $K, Ca // SO_4, CO_3-H_2O$, и входящие в их состав трёхкомпонентные системы.

Тема научного исследования. Растворимость и фазовые равновесия в системе сульфатов и карбонатов калия, магния и кальция при температурах 0 и 25 °C.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- реализовано анализ известных информации, оценены степень изучение водно – солевых четырёхкомпонентных систем $K, Mg, Ca // SO_4, CO_3-H_2O$ и изучены состав их подсистем;

- на основании сведений фазовые равновесий подсистемы и элементы разного уровня в первые создан фазовая диаграмма системы $K, Mg, Ca // SO_4, CO_3-H_2O$ при температуре 0 и 25°C, которое отображает равновесные отношения между твердыми фазами;

- впервые при температуре 0 и 25°C был изучен особенности фазовой структуры пятикомпонентных систем, выявленные её изменение при повышении температуры;

- найдены расположение дивариантных полей кристаллов твердых фаз и на их основа завершено фрагментация фазовых диаграмм при температуры исследований;

- исходя из практических исследований полученно новые информации о растворимости четырёхкомпонентных систем $K, Mg, Ca // CO_3-H_2O$ и $K, Mg, Ca // SO_4-H_2O$ при температуре 0 и 25°C. Определенно характеристика их фазовые равновесий и построены их соответствующие диаграммы растворимости.

Основные положения на защиту:

- из результатов анализа литературных информации и данных экспериментов, которая предоставил возможность изучение фазовых

равновесий систем сульфатов и карбонатов калия, магния и кальция и определенно состав их подсистем при температуре 0 и 25°C;

- результатов применения метода трансляции для определения фазовых взаимоотношений и создать диаграммы четырехкомпонентных систем K, Mg, Ca // $\text{SO}_4\text{--H}_2\text{O}$; K, Mg, Ca // $\text{CO}_3\text{--H}_2\text{O}$; K, Mg // $\text{SO}_4, \text{CO}_3\text{--H}_2\text{O}$; Ca, Mg // $\text{SO}_4, \text{CO}_3\text{--H}_2\text{O}$; K, Ca // $\text{SO}_4, \text{CO}_3\text{--H}_2\text{O}$ при температуре исследований;

- четырехкомпонентные системы K, Mg, Ca // $\text{SO}_4\text{--H}_2\text{O}$ и K, Mg, Ca // $\text{CO}_3\text{--H}_2\text{O}$ были экспериментально исследованы при температурах 0 и 25°C, определены состав равновесных твердых фаз и положение неинвариантных точек. На основании полученных результатов построены диаграммы растворимости обеих систем при указанных температурах.

Теоретическое и научно-практическое значение проведенного исследования заключается в том что:

-полученные методом трансляции данные о фазовых равновесиях в системе K,Mg,Ca// $\text{SO}_4, \text{CO}_3\text{--H}_2\text{O}$ могут быть использованы в качестве научно-справочного материала для дальнейшего исследования и анализа многокомпонентных водно-солевых систем.

определенные закономерности фазовых равновесий и фазообразования служить как основы науки для правильного выбора и обоснование необходимых условий переработки сырого сырья природных полиминералов и техно генов в том числе отходов производство имеющих сульфатов и карбонатов калия, магния, кальция.

Степень достоверности результатов исследования.

Достоверность полученных результатов подтверждается их обработкой и анализом с использованием современных физико-химических методов, а также апробацией на республиканских и международных конференциях, симпозиумах и публикацией основных материалов исследования в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК.

Соответствие диссертации паспорту по научной специальности.

Полученные результаты научного исследования соответствуют пункту 1.4. «Химия» (1.4.2. Неорганическая химия) паспорта специальности:

Пункт 1. – установление характера взаимосвязи между составом, строением и свойствами неорганических соединений.

Пункт 4. – Изучение химических и структурно-фазовых превращений неорганических соединений.

Личный вклад соискателя ученой степени. Личный вклад автора заключается в анализе литературных данных, планировании, проведении теоретических и экспериментальных исследований, обработке, обобщении и анализа полученных результатов, формулировании выводов, а также в подготовке и публикации научных статей по теме диссертации.

Апробация и внедрение результатов диссертации. Результаты диссертационной работы были апробированы и обсуждены на следующих международных и республиканских научных конференциях: на ежегодных научно-теоретических конференциях профессорско-преподавательского состава Таджикского государственного педагогического университета имени С. Айни (Душанбе, 2014-2025); на Республиканской научной конференции «Экология и проблемы воспитания» (Душанбе, 2014); на Международной конференции «Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий» (Душанбе - Москва – Тамбов, 2014); на Международной научно-практической конференции «Пути и направления рационального использования водных ресурсов Таджикистана» (Душанбе, 2017); на «Байкальском материаловедческом форуме» (Улан-Удэ, 2018); в материалах IV Международной научно-практической конференции «Global Science and Innovations 2019: Central Asia» (Астана, 2019); на Республиканской научно-практической конференции «Таҳқиқи таълими тафриқа» (Душанбе, 2019); в материалах V Международной научно-практической конференции (Нур-Султан, Казахстан, 2019); на Республиканской научно-практической конференции «Основы развития и перспективы науки химии в Республике Таджикистан» (Душанбе, 2020); на Международной научно-практической конференции «Современные проблемы металлургической промышленности» (Душанбе, 2021); на Международной научно-методической конференции «Роль естественных и математических наук и методики их преподавания в процессе индустриализации страны» (Душанбе, 2022); на Республиканской научно-практической конференции « Современное состояние и перспективы физико-химического анализа», посвящённой объявлению четвёртой стратегической цели - индустриализации страны и памяти учёного Л. Солиева (Душанбе, 2023); на Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы химической науки и промышленности» (Фергана, 2023); на 88-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов Белорусского государственного технологического университета (Беларусь, 2024); на Международной конференции «Химическая наука и образование: проблемы и перспективы развития» (Дагестанский государственный педагогический университет им. Р. Гамзатова, Махачкала, 2024); на Республиканской научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа», посвящённой объявлению четвёртой стратегической цели - индустриализации страны (2022–2026 г. - «Годы развития промышленности») и памяти доктора химических наук, профессора Лутфулло Солиева (Душанбе, 2025); в материалах Международной научно-

практической конференции «Комплексные соединения и аспекты их применения» (Душанбе, 2025).

Публикации по теме диссертации. По материалам диссертационной работы опубликовано 1 первый патент, 10 научных статей (в том числе 9 статей - в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан), а также 16 тезисов докладов, опубликованных в материалах научных конференций.

Структура и объём диссертационной работы. Диссертация представлена в виде рукописи объёмом 143 компьютерных страниц и состоит из введения, трёх глав и заключения. Работа содержит 39 рисунков, 39 таблиц и список использованной литературы, включающий 125 наименования источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертационная работа направлено для определения свойств растворимости, фазообразий и фазовых равновесий в многокомпонентных водно-солевых систем $K, Mg, Ca//SO_4, CO_3 - H_2O$, а также состав её подсистем при температуре 0 и 25°C. Анализ опубликованной информации данной пятикомпонентных систем показано, что фазовые положения и растворимость данной пятикомпонентных систем при выбранный температуре информации недостаточно. В зависимости по этой, при исследованиях основной внимания было направлено для определения состав равновесий твёрдых фаз, выявление свойств развитие фазовых комплексов, построить диаграммы фазовых равновесий и растворимости, а также свойств их изменений при повышении температуры от 0 до 25°C.

Основные методы исследований многокомпонентных систем, их свойств и возможность внедрение в новых технологии, как изучение применение фазовые равновесий и растворимости компонентов приведены в первой главе диссертации.

Второй глава посвящается к результатам исследование процессов фазообразование и растворимости, они предложены в виде геометрических форм символов многокомпонентных систем $K, Mg, Ca//SO_4-H_2O$ для температуре 0 °C. Для перехода с трехкомпонентных систем к четырехкомпонентным, а из четырехкомпонентных к пятикомпонентным системам применено метод трансляции. Достоверность, уменьшение объем экспериментальных работ, определение объективные положение предсказаний фазовые равновесий твердых фаз. Основной часть этой глава является экспериментальное исследование растворимости четырехкомпонентных систем $K, Mg, Ca//SO_4-H_2O$ и $K, Mg, Ca//CO_3-H_2O$ при 0 °C.

В третьем главе представлены (изложены) диаграммы фазовые равновесий пятикомпонентных и её четырехкомпонентных составной части, при 25 °C, а также определено кристаллизационных полей твердых

фаз. Одновременно изучены растворимости четырёхкомпонентных систем сульфатов и карбонатов калия, магния и кальция при 25 °С и построены их диаграммы растворимости. Уникальное значение результатов исследования, утверждены с помощью рентгенофазовых анализом.

Основные выводы и список использованных литературных данных приведены в конце диссертационных работ.

Кроме вышеуказанных параметров, в диссертации представлены условные символы и сокращённый вид название химических соединений, как: Ар – арканит (K_2SO_4); Гп – гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$); Эпс – Эпсомит ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$); Ше- шенит ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$); Пг- полигалит $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$); Сн – сингенит ($K_2SO_4 \cdot CaSO_4 \cdot H_2O$); Сс – (кал) кальцит ($CaCO_3$); М·12 - ($MgSO_4 \cdot 12H_2O$); М·3 (маг) – магнезит ($MgCO_3 \cdot 3H_2O$); Mg·Ca (дол) – доломит ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$); К·Са – двойная соль ($K_2CO_3 \cdot CaCO_3$); К·1,5 – ($K_2CO_3 \cdot 1,5H_2O$) и К·2 – ($K_2CO_3 \cdot 2H_2O$).

Методы исследования многокомпонентных систем

Закономерности фазовых равновесий считается основой анализов процессов технологии переработки природных сырой сырья и техногенов. Изучение фазовых равновесий даёт возможность для определения и прогнозирования изменений состав и положений фазовых систем в зависимости действия в нежных факторов (температур, давления, концентрации). Он имеет перспектива для создание благоприятные условия при технологические процессов.

«Для трёх- и четырёхкомпонентных систем применяют геометрические модели, но с ростом числа компонентов (пять и более) визуализация усложняется из-за увеличения невариантных точек, моновариантных линий и дивариантных областей. В таких случаях используют метод трансляции и математические модели. Для анализа многокомпонентных водно-солевых систем применяют триангуляцию, графические методы и вычислительные подходы, позволяющие прогнозировать структуру систем $n+1$ на основе данных для n компонентов» [1, с. 112-115]. В работе метод трансляции применён к пятикомпонентной системе (К, Mg, Ca// SO_4 , CO_3-H_2O), что преодолевает ограничения классической геометрической интерпретации.

В рамках исследований, проведённых пятикомпонентных систем сульфатов, и карбонатов калия, магния и кальция были подвергнуты исследовани. Проанализирован систем К, Mg, Ca// $CO_3 - H_2O$; К, Mg, Ca// $SO_4 - H_2O$; К, Ca// $SO_4, CO_3 - H_2O$; Ca, Mg// $SO_4, CO_3 - H_2O$; К, Mg// $SO_4, CO_3 - H_2O$ определено свойств фазовых положений и взаимодействие равновесий их компонентов.

Согласно анализу литературных источников, пятикомпонентная система К, Mg// SO_4, CO_3-H_2O , а также входящие в её состав

четырёхкомпонентные системы до настоящего времени не были изучены. В связи с этим отсутствуют и диаграммы фазовых равновесий для данных систем.

Растворимость трехкомпонентных систем, изученных при температурах 0 и 25 °C: K,Mg//SO₄-H₂O, K//SO₄,CO₃-H₂O, K,Mg//SO₄-H₂O, Ca,K//SO₄-H₂O. Три системы были изучены только при температуре 25°C Mg//SO₄,CO₃-H₂O, Mg,Ca//SO₄-H₂O и Ca//SO₄,CO₃-H₂O. Однако такие трёхкомпонентные системы, как K,Mg//CO₃-H₂O и Ca,K//CO₃-H₂O, остаются совершенно не исследованными. Из – за отсутствия информации о взаимодействии процесс между всех систем, для остальных состояние данных систем принято эвтоническое положение.

На основании анализов опубликованных научных информации, степень изучения пятикомпонентных систем K,Mg,Ca//SO₄, CO₃ – H₂O а также её состав трех- и четырёхкомпонентных систем при температуре 0 и 25°C было подведены итоги. Проведенный анализ дал возможность, что уровень исследования отдельных подсистем выявлено, системы, которые должны быть обнаружены, относительно к ней нет информации о фазовых равновесий или она недостаточно. Итоговые результаты анализа предподнесены в таблице 1.

Таблица 1. – Состояние исследования трёх-, четырёх- и пятикомпонентных систем K,Mg,Ca//SO₄,CO₃-H₂O при температурах 0 и 25°C

№ п/п	Системы	Компонентность	Изотерма, °C	
			0	25
1	K,Mg,Ca//SO ₄ ,CO ₃ -H ₂ O	5	-	-
2	K,Mg//SO ₄ ,CO ₃ -H ₂ O	4	-	-
3	Mg,Ca//SO ₄ ,CO ₃ -H ₂ O	4	-	-
4	K,Ca//SO ₄ ,CO ₃ -H ₂ O	4	-	-
5	K,Mg,Ca//SO ₄ -H ₂ O	4	-	+
6	K,Mg,Ca//CO ₃ -H ₂ O	4	-	-
7	K,Mg//SO ₄ -H ₂ O	3	+	+
8	K//SO ₄ ,CO ₃ -H ₂ O	3	+	+
9	Mg//SO ₄ ,CO ₃ -H ₂ O	3	-	+
10	K,Mg//CO ₃ -H ₂ O	3	-	-
11	Mg,Ca//SO ₄ -H ₂ O	3	-	+

Продолжение таблицы 4.				
12	Mg,Ca//CO ₃ -H ₂ O	3	+	+
13	Ca//SO ₄ ,CO ₃ -H ₂ O	3	+	+
14	Ca,K//SO ₄ -H ₂ O	3	+	+
15	Ca,K//CO ₃ -H ₂ O	3	-	-

Фазообразование и растворимости в геометрических символах многокомпонентных систем K,Mg,Ca//SO₄,CO₃-H₂O для температуры 0 °С по методом трансляции

Система K,Mg,Ca//SO₄-H₂O

Основа этой системы исследований водно-солевых систем составляет соединений сульфатов калия, магния и кальция. Каждый из этих подсистем характеризуется с определёнными свойствами фазовых равновесий. В соответствие литературных информации при температуре 0°С, для данной систем, свойственно развитие одного или двух невариантных точек, они соответствуют к равновесий взаимных насыщенный раствор с твердом фазам Ар+Ше, Ше+М·12, Ар+Сн, Сн+Гп и М·12 +Гп При этом развивается три точек по поверхности четырёхкомпонентных E₁⁴, E₂⁴, E₃⁴ систем

Система K,Mg,Ca//CO₃-H₂O

«Данная четырёхкомпонентная система состоит из следующих подсистем, как Mg,Ca//CO₃-H₂O, K,Ca//CO₃-H₂O, K,Mg//CO₃-H₂O. Каждый из них характеризуется содержанием своим невариантных точек определяющий условие появление твердых фаз равновесий» [86, с 11]. Развитие таких видов равновесий при таких подсистемах, с помощью примерами связывания фаз, как: Сс+ Mg·Ca, Mg·3 + Mg·Ca, К·2+М·3 а также Сс+К·2 можно отображать. Этих фаз откроет свойств и условий содержания системный баланс, которое становится причиной появление невариантных точек E₄⁴ и E₅⁴.

Система K,Mg //SO₄,CO₃-H₂O

Основы этой системы составляет четыре трехкомпонентных водно – солевых составов сульфатов, карбонатов калия и сульфатов карбонатов магния, а также карбонатов калия и магния. Для одной из этих состав систем сдержает два невариантных точек и к остальным трех систем относится по одной невариантных точек. В результате их трансляции, три невариантных точек по поверхностей четырёхкомпонентной систем, характерно в общих следующих твёрдых фаз равновесиях E₆⁴ =Ше+К·2+М·3; E₇⁴= Ар+Ше+К·2 и E₈⁴= Ше+ М·12+М·3.

Система Ca,Mg//SO₄,CO₃-H₂O

Четырёхкомпонентная система включает в себя следующие трёхкомпонентные подсистемы: Ca,Mg//SO₄-H₂O, Ca,Mg//CO-H₂O, Ca//SO,CO-H₂O и Mg//SO₄,CO₃-H₂O. «Для подсистемы Ca//SO₄,CO₃-H₂O характерно наличие двух невариантных точек, тогда как для остальных подсистем установлено наличие лишь одной невариантной точки. В процессе трансляции указанных трёхкомпонентных невариантных точек на уровень четырёхкомпонентной системы образуются новые невариантные точки, каждая из которых отвечает равновесию конкретного набора твёрдых фаз» [88, с. 230]: $E_9^4 = M \cdot 12 + Mg \cdot Ca + M \cdot 3$; $E_{10}^4 = Гп + M \cdot 12 + Mg \cdot Ca$ и $E_{11}^4 = Гп + Сс + Mg \cdot Ca$. Таким образом, для данной системы выявлены три невариантные точки, отражающие устойчивые сочетания равновесных твёрдых фаз.

Система K,Ca//SO₄,CO₃-H₂O

В результатов трансляции невариантных точек поверхностей трёхкомпонентов к поверхностям четырёхкомпонента было уточнена E_{12}^4 , E_{13}^4 и E_{14}^4 . Этих точек соответствуют к совмещённым твёрдым фазам, то есть $Сн + Ар + K \cdot 2$, $Сн + Гп + Сс$ и $Сс + Сн + K \cdot 2$, является пропорционально. Совокупность твёрдых фаз равновесий $Сн + Ар + K \cdot 2$, $Сн + Гп + Сс$ и $Сс + Сн + K \cdot 2$ стало причиной образования точек в этой системе.

После объединения кристаллизации полей твердых фаз одинаковых четырёхкомпонентных систем составляющей пятикомпонентных систем, невариантных точек и твердых фаз её равновесий оформлены в рисунке 1. В том положение строение диаграммы фазовых равновесий поверхностей четырёхкомпонентов применяется как основа для строения диаграммы фазовых равновесий систем на поверхностях пяти компонентов.

Таблица 2. – Фазовые равновесия в невариантных точках четырёхкомпонентной поверхности для температуры 0°C

Невариантные точки	Система	Равновесные твёрдые фазы
E_1^4	K,Mg,Ca//SO ₄ -H ₂ O	$M \cdot 12 + Гп + Шс$
E_2^4		$Ар + Шс + Сн$
E_3^4		$Сн + Шс + Гп$
E_4^4	K,Mg,Ca//CO ₃ -H ₂ O	$M \cdot 3 + Ca \cdot Mg + K \cdot 2$
E_5^4		$Ca \cdot Mg + K \cdot 2 + Сс$
E_6^4	K,Mg//SO ₄ ,CO ₃ -H ₂ O	$Шс + M \cdot 3 + K \cdot 2$
E_7^4		$Ар + Шс + K \cdot 2$
E_8^4		$Шс + M \cdot 3 + M \cdot 12$
E_9^4	Ca,Mg//SO ₄ ,CO ₃ -H ₂ O	$M \cdot 12 + M \cdot 3 + Ca \cdot Mg$
E_{10}^4		$Ca \cdot Mg + M \cdot 12 + Гп$
E_{11}^4		$Гп + Ca \cdot Mg + Сс$
E_{12}^4	K,Ca//SO ₄ ,CO ₃ -H ₂ O	$Сс + Сн + Гп$
E_{13}^4		$Сн + Ар + K \cdot 2$
E_{14}^4		$Сн + Сс + K \cdot 2$

На основании информации таблица 2 и применение метода трансляции, исследовано фазовые равновесий систем $K, Mg, Ca // SO_4, CO_3-H_2O$ при температуре $0^\circ C$. Итоги исследование стала рычагом возможностей объект исследований диаграммы фазовых равновесий систем при температуре $0^\circ C$.

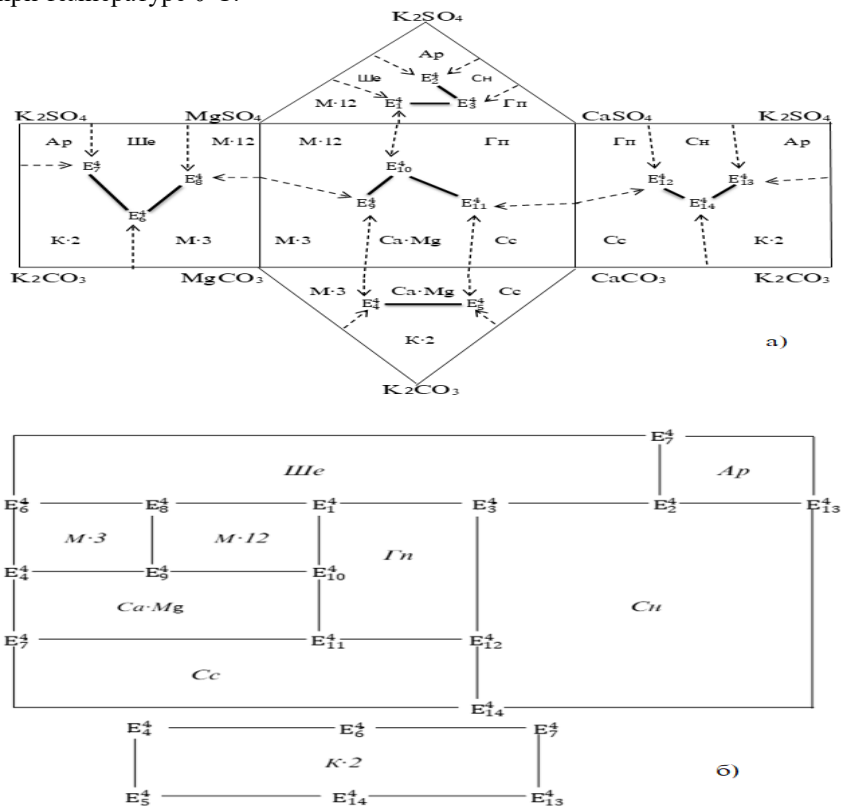


Рисунок 1. – Диаграмма равновесий фаз системы $K, Mg, Ca // SO_4, CO_3-H_2O$ при $0^\circ C$:

а) представленная в форме развёрнутой призмы; б) в виде схемы

Анализ данных, приведённых на рис. 1, показывает, что для системы $K, Mg, Ca // SO_4, CO_3-H_2O$ при температуре $0^\circ C$ на уровне четырёхкомпонентного система характерно формирование девяти дивариантных полей, соответствующих кристаллизации равновесных твёрдых фаз, двадцати моновариантных линий, отражающих совместную кристаллизацию двух фаз, а также четырнадцати невариантных точек, в которых реализуется одновременная кристаллизация трёх фаз.

Представленные в рис. 1б структуры диаграммы пятикомпонентных систем, изученных на уровень его основателем четырёхкомпонентных систем. Данная структура в дальнейшем может служить научной основой для размещения структурных элементов исследуемой системы на уровне пятикомпонентного состава.

При применении определённых невариантных точек, впервые строены схематические диаграммы фазовых равновесий систем $K, Mg, Ca // SO_4, CO_3-H_2O$ для температуре $0^\circ C$ по поверхностей пятикомпонента. В этой диаграмме показано общее строение систем, расположение кристаллизации и связь между положением равновесий (рисунки 2).

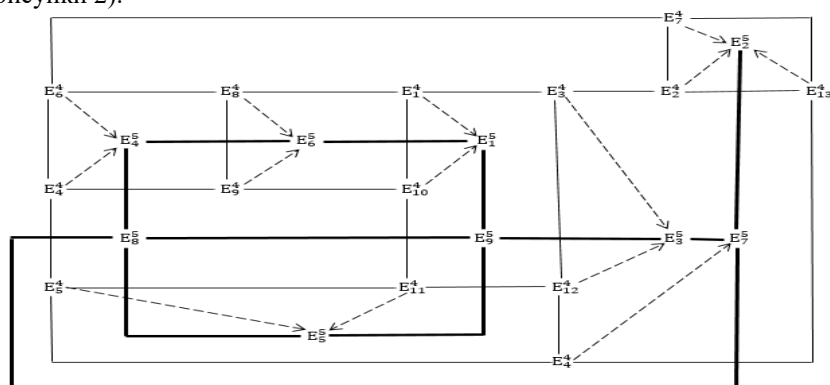
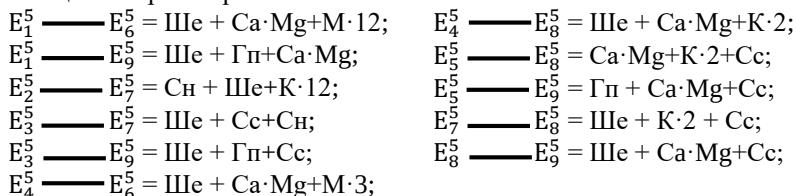


Рисунок 2. – Диаграмма фазовых равновесий системы $K, Mg, Ca // SO_4, CO_3-H_2O$ на пятикомпонентном уровне, при температуре $0^\circ C$.

Сплошную узкие линии, проходящие среди невариантных точек на поверхности химической системы состоящей из четырёх компонентов, они утверждает существование равновесии двух твёрдых фаз с насыщенными своих растворами. Пунктирные линии диаграммы учитывает направление трансляции невариантных четырёхкомпонентных систем на уровень пятикомпонентных систем. Однородные толстые линии этого рисунка даёт понятие о том, что она проходит невариантных, точек пятикомпонентных систем, их соединяет между собой, кроме того объясняется что, при равновесии этих твердых фаз имеет своих насыщенных растворов:



Завершенные итоги показала, что применение метода трансляции для построения диаграммы фазовые равновесия систем $K, Mg, Ca//SO_4, CO_3-H_2O$ при $0^\circ C$, является успешными. В этой диаграмме определено 22 дивариантных полей, 25 моновариантных линии и 9 невариантных точек. Такие результаты для будущей исследований растворимости и обоснование пути технологии переработки сырой сырья поли минералов имеющих сульфатов, карбонатов калия, магния и кальция служить как научной основа.

Экспериментальное исследование растворимости в системе $K, Mg, Ca//SO_4-H_2O$ при $0^\circ C$

«Данная четырёхкомпонентная система при температуре $0^\circ C$ до настоящего времени не подвергалась детальному исследованию. С этой целью она была изучена нами с использованием метода трансляции, и впервые была составлена схематическая диаграмма её фазовых равновесий. Учитывая практическую значимость и особенности фазовых равновесий данной системы, её исследование было также проведено экспериментальным путём» [82, с. 418-424]. В данном подразделе рассматриваются и анализируются результаты исследования растворимости невариантных точек системы $K, Mg, Ca // SO_4 - H_2O$ при температуре $0^\circ C$.

Элементарный состав четырёхкомпонентных систем, включающих сульфаты калия, магния и кальция при $0^\circ C$, реализуется в виде кристаллизации следующих фаз: Ар-арканит (K_2SO_4); Сн – сингенит ($K_2SO_4 \cdot CaSO_4 \cdot H_2O$); Ше – шенит ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$); Гп – гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) и М·12 ($MgSO_4 \cdot 12H_2O$).

Для проведения исследований были использованы следующие химические чистые соли: $CaSO_4 \cdot 2H_2O$; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$; K_2SO_4 . Практические информации, приобретенные при процессе исследований, показывает (доказывает), что состав равновесные растворы в зависимости совокупности кристаллизации твердых фаз значительно изменяется. (как, то визуально). Для отдельных солей при $0^\circ C$, определены количество K_2SO_4 -7,5% по массе, $CaSO_4$ -0,22% по массе и $MgSO_4$ -20,3% по массе. Между этих трёх компонентов количество $CaSO_4$ в данной насыщенном растворе отличается с малыми количествами. В невариантных точек поверхностей четырёхкомпонентных систем состав растворов становится сложнее. Выяснено, что E_1^4 которое обхватывает в себя поверхностей равновесия твёрдых фаз Ар+Сн+Ше имеет по массу 4,48% K_2SO_4 , 0,157% $CaSO_4$ и 2,56% $MgSO_4$. E_2^4 соответствующей к твердых фаз равновесии Ше+М·12+Гп, составляет следующих относительных показателей 2,70; 0,147 и 1,85% по массе. Для E_3^4 сходи очередной твердых фаз равновесии Гп+Сн+Ше, их количеств K_2SO_4 , $CaSO_4$ и $MgSO_4$ относительно равно 2,97; 0,129 и 1. 185% по массе.

По результатам экспериментальных исследований составлена диаграмма растворимости системы К, Mg, Ca // $\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ при температуре 0°C . Солвая часть диаграммы приведена на рисунке 3.

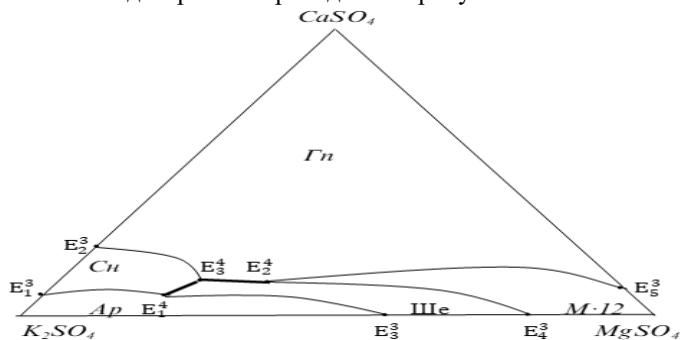


Рисунок 3. – Солевая часть диаграммы растворимости системы К, Mg, Ca // $\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ при 0°C

Для определения положение (специфические) характерные точек диаграммы применены метод массентрии. По этой метод определено расположение невариантных точек поверхностей трехкомпонентных и четырехкомпонентных границей между полей кристаллизации твердых фаз.

Практические исследование растворимости К, Mg, Ca // $\text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ при температуре 0°C

С целью освоение закономерности фазовые равновесий четырехкомпонентных систем К, Mg, Ca // $\text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ при температуре 0°C , изучено а экспериментально.

Равновесные твёрдые фазы, характерные для данной системы при 0°C , следующие: Сс-кальцит (CaCO_3); К·2 - $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; Са·Mg-доломит ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$); Mg·3-магнезит ($\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Результаты экспериментов приведены в таблице 3.

Таблица 3. – Состав насыщенных растворов и твердых фаз равновесии систем К, Mg, Ca // $\text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ при температуре 0°C

Невариантные точки	Состав жидкой фазы, %				Равновесные твёрдые фазы
	K_2CO_3	CaCO_3	MgCO_3	H_2O	
e_1	51,7	-	-	48,3	К·2
e_2	-	0,0048	-	99,9952	Сс
e_3	-	-	0,3206	99,6794	М·3
E_1^3	-	0,0174	0,0245	99,9581	Сс + Са·Mg
E_2^3	-	0,0411	0,0381	99,9208	Са·Mg+ М·3
E_3^3	45,786	-	0,0392	54,1748	К·2+М·3
E_4^3	47,816	0,0143	-	52,1697	К·2+Сс
E_1^4	46,113	0,0173	0,0274	53,8423	Сс+ Са·Mg+ К·2
E_2^4	49,763	0,0146	0,0253	50,1971	К·2+Са·Mg+М·3

На основе фактов таблиц освоены положение невариантных точек поверхностей трех, -четырёх компонента и построены диаграммы растворимости этой систем (рисунки 4).

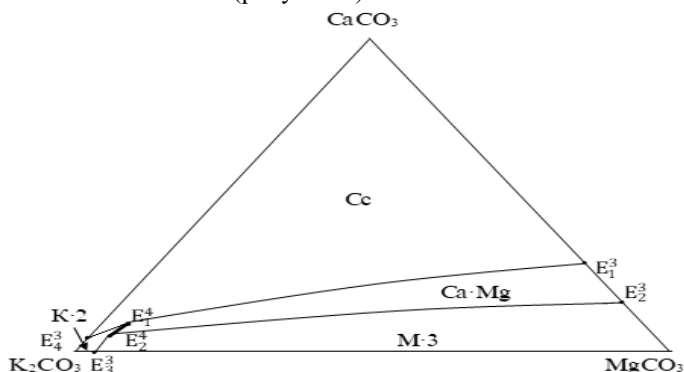


Рисунок 4. –Диаграммы растворимости системы карбонатов калия, магния, кальция с водой при темпратуре 0 °C

Фазообразование и растворимости в геометрических символах многокомпонентных систем K,Mg,Ca//SO₄-H₂O для температур 25 °C по методом трансляции

Проведенных эксперимент методом трансляцию показывает, что где невариантных точек появляется на поверхности четырёхкомпонентного водно-солевых состав систем, еще четырех невариантные точки E₁₅⁴ до E₁₈⁴ с твердыми фазовыми равновесии следующих систем: Гп+Cc+K·Ca; Cн+Гп+K·Ca; Cн+Ар+K·Ca и K·Ca+Ар+K·1,5.

Результаты невариантные точки поверхности состава четырёхкомпонентных систем, составляющих пятикомпонентных систем, как карбонатов, сульфатов калия, магния и кальцию методом трансляции при 25°C, обобщены в таблица 4. На основе полученных сведений строено диаграммы фазовых равновесий данных систем, в виде открытой пятигранной призмы, которая приведены в рисунке 5.

Таблица 4. – Характеристика невариантных точек системы K,Mg,Ca//CO₃-H₂O при 25 °C, определённых методом трансляции

Нонвариантная точка	Система	Равновесные твёрдые фазы
E ₁ ⁴	K,Mg,Ca//SO ₄ -H ₂ O	Эпс+Ше+Гп
E ₂ ⁴		Ар+Ше+Пг
E ₃ ⁴		Ар+Пг+Сн
E ₄ ⁴		Ше+Пг+Гп
E ₅ ⁴		Пг+Сн+Гп
E ₆ ⁴	K,Mg,Ca//CO ₃ -H ₂ O	Ca·Mg+K·1,5+K·Ca
E ₇ ⁴		Mg·3+ Ca·Mg+K·1,5
E ₈ ⁴		Ca·Mg+ K·Ca+Cc

Продолжение таблицы 4.		
E_9^4	K,Mg//SO ₄ ,CO ₃ -H ₂ O	Ше+ K·1,5+Mg·3
E_{10}^4		Ар+Ше+ K·1,5
E_{11}^4		Ше+Эпс+ Mg·3
E_{12}^4	Ca,Mg//SO ₄ , CO ₃ -H ₂ O	Эпс+Mg·3+Ca·Mg
E_{13}^4		Эпс+Гп+Ca·Mg
E_{14}^4		Гп+Ca·Mg+Cc
E_{15}^4	K,Ca//SO ₄ , CO ₃ -H ₂ O	Гп+Cc+K·Ca
E_{16}^4		Гп+ K·Ca+Сн
E_{17}^4		Сн+Ар+K·Ca
E_{18}^4		Ар+ K·1,5+K·Ca

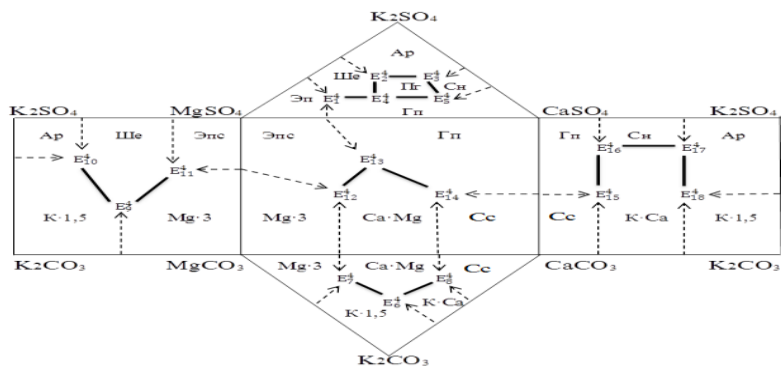


Рисунок 5. – Геометрическая структура изотермы 25°C системы K,Mg,Ca // SO₄,CO₃-H₂O на уровне четверного состава

При переходе от невариантных точек четырёхкомпонентного состава к пятикомпонентной состава получаются следующие невариантные точки пятикомпонентного состава.

$$E_8^4 + E_{14}^4 + E_{15}^4 \longrightarrow E_1^5 = Ca \cdot Mg + K \cdot Ca + Cc + Гп;$$

$$E_1^4 + E_{13}^4 \longrightarrow E_2^5 = Ше + Эпс + Гп + Ca \cdot Mg;$$

$$E_2^4 + E_{10}^4 \longrightarrow E_3^5 = Ше + Ар + Пг + K \cdot 1,5;$$

$$E_3^4 + E_{17}^4 \longrightarrow E_4^5 = Ар + Пг + Сн + K \cdot Ca;$$

$$E_5^4 + E_{16}^4 \longrightarrow E_5^5 = Пг + Сн + Гп + K \cdot Ca;$$

$$E_6^4 + E_{18}^4 \longrightarrow E_6^5 = K \cdot Ca + K \cdot 1,5 + Ca \cdot Mg + Ар;$$

$$E_7^4 + E_9^4 \longrightarrow E_7^5 = Mg \cdot 3 + Ca \cdot Mg + K \cdot 1,5 + Ше;$$

$$E_{11}^4 + E_{12}^4 \text{-----} \rightarrow E_8^5 = \text{Шe} + \text{Эпс} + \text{Mg} \cdot 3 + \text{Ca} \cdot \text{Mg};$$

$$E_4^4 + \text{Ca} \cdot \text{Mg} \text{-----} \rightarrow E_9^5 = \text{Шe} + \text{Пг} + \text{Гп} + \text{Ca} \cdot \text{Mg};$$

$$E_{10}^5 = \text{Пг} + \text{K} \cdot 1,5 + \text{Ca} \cdot \text{Mg} + \text{Ap};$$

$$E_{11}^5 = \text{Пг} + \text{K} \cdot 1,5 + \text{Ca} \cdot \text{Mg} + \text{Шe};$$

$$E_{12}^5 = \text{Пг} + \text{K} \cdot \text{Ca} + \text{Ca} \cdot \text{Mg} + \text{Ap};$$

$$E_{13}^5 = \text{Гп} + \text{Ca} \cdot \text{Mg} + \text{Пг} + \text{K} \cdot \text{Ca};$$

«На основе полученных результатов созданы диаграммы фазовых равновесий систем $\text{K, Mg, Ca} // \text{SO}_4, \text{CO}_3\text{--H}_2\text{O}$ при температуре 25°C по поверхностям пятикомпонентов» (рис. 6) [97. 223 – 233]. Разработанные диаграммы отражает основные закономерности фазовых равновесий, взаимное расположение фазовых равновесий и свойств фазообразования в исследуемых системах.

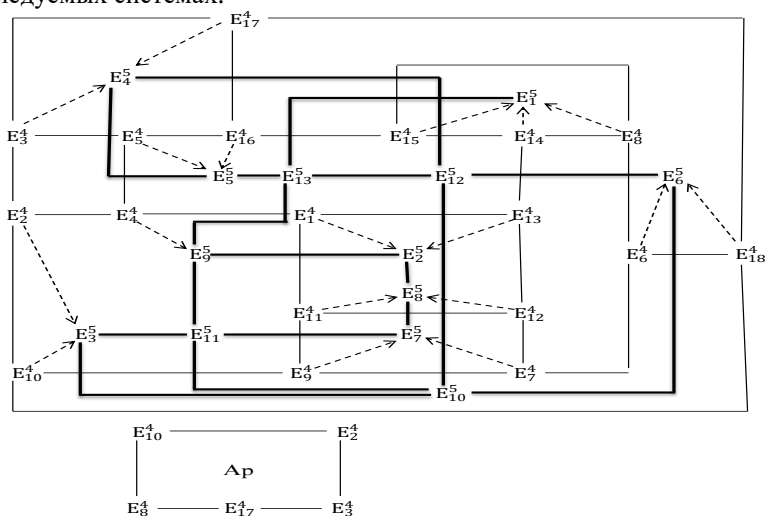


Рисунок 6. – Схематическое диаграмма фазовых равновесий изотермы 25°C системы $\text{K, Mg, Ca} // \text{SO}_4, \text{CO}_3\text{--H}_2\text{O}$ на уровне пятикомпонентного состава

Существование насыщенных растворов двух твердых фаз, происходящих между невариантных точек поверхности четырехкомпонентных систем, указано с помощью неисхожих тонких линии. Пунктирные линии отражает направление процесс трансляции поверхности и четырехкомпонентных систем и поверхности пятикомпонентных систем.

Границей между этими полями составляет 35 моновариантных

линий, которые отображает совместные равновесии двух твердых фаз. Кроме того, в диаграммы уточнено 13 невариантных точек, у которых расположено три твердых фаз при положений равновесий.

Система K,Mg,Ca//SO₄-H₂O

«Данные трёхкомпонентный систем, как K₂SO₄ – MgSO₄ – H₂O, K₂SO₄ – CaSO₄ – H₂O MgSO₄ – CaSO₄ – H₂O входит в состав исследуемой водно – солевой систем K,Mg,Ca//SO₄-H₂O» [85, с. 112].

Из составной части четырёхкомпонентных водно-селевой систем, для третьей компонент только соответствую одно невариантной точки, в ней входит следующей твердой фазовой равновесии, как: Ше+Эпс; Ар+Ше; Ар+Сн; Сн+Гп и Эпс+Гп. Причиной образование твердых фаз Полигалит (K₂SO₄·MgSO₄· 2CaSO₄·2H₂O) происходит за счёт повышение температуры от 0 до 25 °С. Далее прибавление последних твердых фаз-полигалита, усложняет строение диаграммы и даёт обстоятельство для увеличения число геометрических элементов, которые в следствие изменяется и свойства равновесии в данной температуре. Новый последний твердый фаз при тоже температуре со всеми площадей между собой имеет линий. Это положение даёт объяснение о плохо растворимости полигалита, по сколько она займёт большое части поверхности данного диаграммы.

Причиной появление невариантных точек по поверхности четырёхкомпонентных систем, это явления трансляции невариантных точек поверхности трехкомпонентных систем на поверхности четырёхкомпонентной систем. При равновесий для каждой из них при равновесий соответствуют следующие твердых фаз: $E_1^4 = \text{Эп} + \text{Ше} + \text{Гп}$;

$$E_2^4 = \text{Ше} + \text{Ар} + \text{Пг}; E_3^4 = \text{Сн} + \text{Ар} + \text{Пг} \text{ и } E_4^4 = \text{Сн} + \text{Гп} + \text{Пг}.$$

Система K,Mg,Ca//CO₃-H₂O

Данная четырёхкомпонентная система при температуре 25°С состоит из трех водно – солевых подсистем: CaCO₃ – MgCO₃ – H₂O с двумя невариантных точек, K₂CO₃ – CaCO₃ – H₂O в таком же количестве (2 точка) и K₂CO₃ – MgCO₃ – H₂O с 1 невариантной точкой. Во всех этих подсистемах твёрдых фаз равновесий как: К·1,5+ К·Са; Сс+К·Са; Сс+ Mg·Са; Mg·Са+ М·3 и К·1,5+ М·3.

Причиной образования невариантных точек в четырёхкомпонентной системе является трансляция ранее определённых невариантных точек с уровней соответствующих подсистем на уровень четырёхкомпонентной системы. $E_6^4 = \text{К} \cdot \text{Са} + \text{К} \cdot 1,5 + \text{Са} \cdot \text{Мг}$; $E_7^4 = \text{Са} \cdot \text{Мг} + \text{М} \cdot 3 + \text{К} \cdot 1,5$ и $E_8^4 = \text{Сс} + \text{К} \cdot \text{Са} + \text{Са} \cdot \text{Мг}$.

Система K,Mg //SO₄,CO₃-H₂O

Этого четырёхкомпонентная система содержит следующих трехкомпонентных систем как: K,Mg//SO₄-H₂O; K//SO₄,CO₃-H₂O; Mg//SO₄,CO₃-H₂O и K, Mg //CO₃-H₂O. Для трехкомпонентная система K,Mg//SO₄-H₂O при надлежит две невариантных точек с равновесии твердых фаз, как: Ар+Ше; Ше+Эпс. Не изученные остальных многокомпонентных систем состоящей из трёх водно-солевых состав с месей просто принято эвтоническим, так как для равновесной твердых фаз соответствует невариантных точек, как Ар+K·1,5; Эпс+M·3; и K·1,5+M·3. Трансляции невариантных точек трехкомпонентных систем на уровень четырёхкомпонентных систем является причиной образование невариантных точек четырехкомпонентного систем с твердого фазового равновесии, как $E_9^4 = \text{Ше} + \text{K} \cdot 1,5 + \text{M} \cdot 3$; $E_{10}^4 = \text{Ар} + \text{Ше} + \text{K} \cdot 1,5$ и $E_{11}^4 = \text{Ше} + \text{Эпс} + \text{M} \cdot 3$.

Система Ca,Mg//SO₄,CO₃-H₂O

Данного система в свой состав имеет следующие трёхкомпонентных водно-солевого раствора: Ca,Mg//SO₄-H₂O; Ca,Mg//CO₃-H₂O; Ca//SO₄,CO₃-H₂O; Mg//SO₄,CO₃-H₂O. Для нижеприведённых трёхкомпонентных систем Ca,Mg//CO₃-H₂O принадлежит такие: Ca·Mg+Cc и M·3+Ca·Mg тверды фазовые равновесий. Для остальных трех других систем подходит по одной невариантных точек со следующими твердых фазовых равновесий: Эпс+Гп; Гп+Cc и Эпс +M·3. В результате трансляции, названные невариантных точек трехкомпонентных систем, на уровень четырёхкомпонентных систем, даёт возможность появление невариантных точек четырёхкомпонентных систем: $E_{12}^4 = \text{Эпс} + \text{Ca} \cdot \text{Mg} + \text{M} \cdot 3$; $E_{13}^4 = \text{Гп} + \text{Эпс} + \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ и $E_{14}^4 = \text{Гп} + \text{Cc} + \text{Ca} \cdot \text{Mg}$.

Система K,Ca//SO₄,CO₃-H₂O

«Для выявление фазовые равновесий систем K,Ca//SO₄,CO₃-H₂O при 25 °С, использованы из информации их трехкомпонентных систем равновесий K//SO₄,CO₃-H₂O; K,Ca//SO₄-H₂O; Ca//SO₄,CO₃-H₂O; K,Ca//CO₃-H₂O» [89. с.165]. Для двух их систем по одной невариантной точки, а для двух других их систем соответствует по две твердый фаз равновесии: Ар+K·1,5; Ар+Сн; Сн+Гп; Гп+Cc; K·1,5+K·Ca и Cc+K·Ca.

Растворимость системы K,Mg,Ca // SO₄-H₂O при 25 °С

В связи с отсутствием данных по растворимости данной системы при температуре 25 °С нами было проведено её исследование с использованием метода трансляции и впервые построена схематическая диаграмма фазовых равновесий (см. гл 3.1). Сведение практически достижение растворимости в невариантной точке систем водных раствор четырёхкомпонентный компонентов получены на основе исследовании их фазовые равновесий при 25°С, экспериментально.

Элементарных состав такие твердых фаз четырёхкомпонентных

водно- солевых систем при 25°C, кристаллизуется на приведенных составных системах: Ар-арканит (K_2SO_4); Ше-шенит ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$); Сн-сингенит ($K_2SO_4 \cdot CaSO_4 \cdot H_2O$); Гп-гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) и М-12 ($MgSO_4 \cdot 12H_2O$).

Для проведения эксперимента использовали из следующих состав солей: $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (ч.д.а); $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (ч.д.а); K_2SO_4 (ч).

Экспериментальные исследования проводились в соответствии с утверждённой планом. Для равномерного перемешивания растворов использовали магнитную мешалку модели PD-9. Ход кристаллизации твёрдых фаз и наступление фазовых равновесий контролировали методом микроскопического анализа с применением микроскопа «Микромер С 11». Полученные микроструктуры твёрдых фаз фиксировали с помощью цифровой фотокамеры модели «SAMSUNG A-55». Эквивалентность изучаемых систем определяли путём анализа изменений состава кристаллизующихся твёрдых фаз на основе данных микроскопических наблюдений. После установление равноценность в данных систем, жидких фаз извлекали с вакуумной насос в воронке Бюхнера с помощью фильтровальной бумаги. Оставшихся твердых фаз фильтра, промывали 96%-ном спиртом, затем высушивали при 120°C в сушильном электрическом приборе.

Для проведение химических анализов данных систем, использованы аналогический способ, а для определения состав фаз применены кристаллооптических метод. Обобщающих результатов химических анализов данного система помещены в таблице 5. Здесь дальнейшие информация о уровень трехфазных систем передается из литературных данных.

Таблица 5. – Растворимость в узловых (нонвариантных) точках системы К, Mg,Ca/ SO_4 - H_2O при 25 °C

Нонвариантные точки	Состав насыщенного раствора, масс %				Фазовый состав осадков
	K_2SO_4	$MgSO_4$	$CaSO_4$	H_2O	
e_1	11,67	-	-	88,33	Ар
e_2	-	26,70	-	73,30	Эпс
e_3	-	-	0,33	99,67	Гп
E_1^3	10,75	12,80	-	76,75	Ар+Ше
E_2^3	4,95	26,05	-	69,00	Ше+ Эпс
E_3^3	7,55	-	0,04	92,41	Ар+Сн
E_4^3	3,17	-	0,16	96,67	Сн+Гп
E_5^3	-	19,85	0,12	80,03	Гп+Эпс
E_1^4	11,90	11,2	0,03	76,87	Ар+Сн+Ше
E_2^4	3,60	27,00	0,06	69,34	Ше+Эпс+Пг
E_3^4	3,40	26,20	0,02	70,38	Сн+Гп+Пг
E_4^4	2,50	26,50	0,08	70,92	Эпс+Пг+Гп
E_5^4	2,40	26,80	0,03	70,77	Сн+Пг+Ше

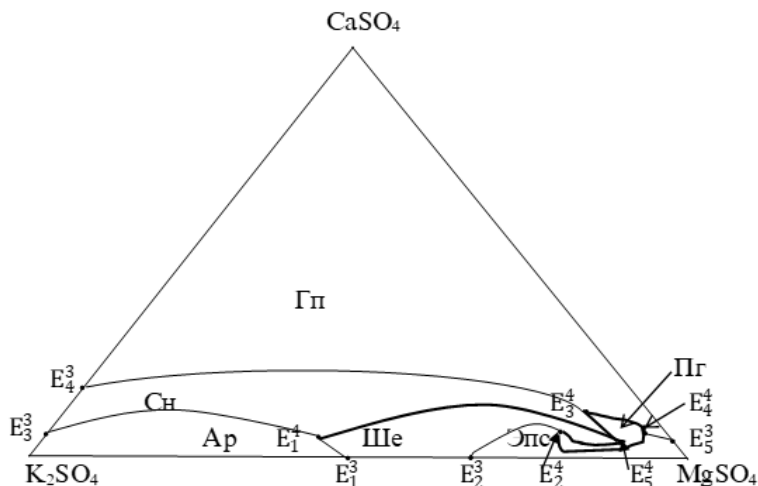


Рисунок 7. – Солевая часть диаграммы растворимости системы $K, Mg, Ca // SO_4-H_2O$ при 25 °C

Анализ рисунки 7 показывает, что область кристаллизации гипс по размерам относительно к соответствующие других областей солевых систем (K_2SO_4 , $MgSO_4 \cdot 12H_2O$) является более крупнее. Этот факт утверждает малорастворимости гипса, даже при повышении температуры до 25 °C почти остаётся неизменным.

Растворимость системы $K, Mg, Ca // CO_3-H_2O$ при 25 °C

Равновесными твёрдыми фазами данной системы при температуре 25 °C являются: $CaCO_3$ - кальсит (Cc); $K_2CO_3 \cdot 1,5$ (K·1,5); $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ - доломит (Ca·Mg) $MgCO_3 \cdot 3H_2O$ -магнезит (Mg·3); $K_2CO_3 \cdot CaCO_3$ -(K·Ca). Результаты анализов указывает отличительные черты составов насыщенных растворов в зависимости по общую твёрдых фазовых равновесий. Специфика растворимости $CaCO_3$ в жидкой фазе очень мало составляет 0, 004%. Для $MgCO_3$ растворимость равно 0, 022%, определены. Относительно к ним, растворимости K_2CO_3 очень высоко составляет 52,74%. Для проверки кристаллический состав осадки, проведено рентгенофазовые анализы. Получены дифрактограммы (рисунки 8), использованы для уточнения подробности твердых фаз равновесий.

На основание практический данных, впервые построена диаграммы устойчивости этапов солей для четырёхкомпонентных

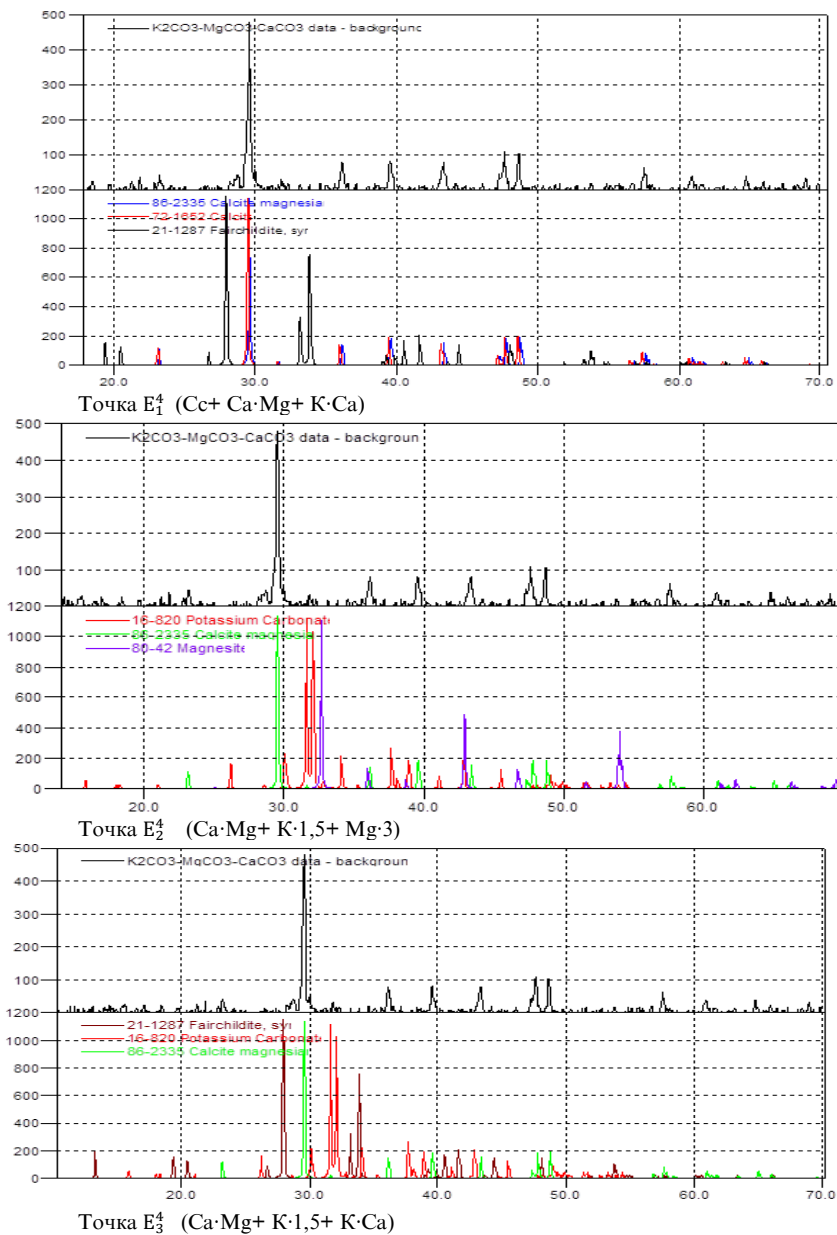


Рисунок 8. – Дифрактограмма равновесных твёрдых фаз системы $K, Mg, Ca/CO_3-H_2O$ при 25 °C

Эти диаграммы отображены с использованием координат в виде равностороннего трёх угольника, что позволяет наглядно представить соотношения между компонентами исследуемой системы и идентифицировать области существования отдельных солевых фаз и их взаимосвязь с растворимостью.

Можно сказать, что диаграммы растворимости данного компонента и объём площади кристаллизации кальцита, даже при увеличении температуры мало изменчиво. Это означает, что данная солевая часть систем плохо растворимая.

Созданная диаграмма растворимости в форме равносторонний треугольник показано в рисунке 9 микроотображении твердых фаз равновесии полученных анализом которой принадлежало к исследованиям при положение фазовой равновесий приведены в рисунке 10.

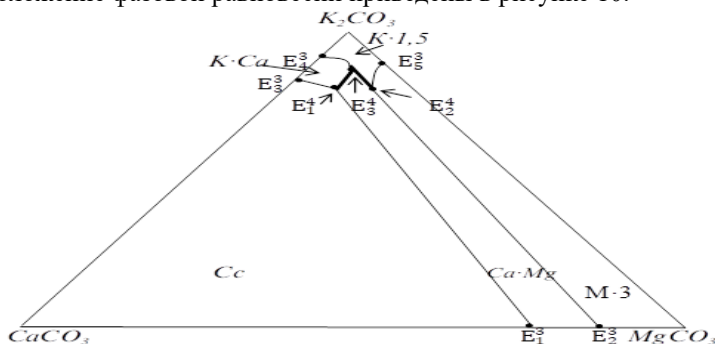


Рисунок 9. – Структура солевой части диаграммы растворимости системы K,Mg,Ca//CO₃-H₂O при 25 °C

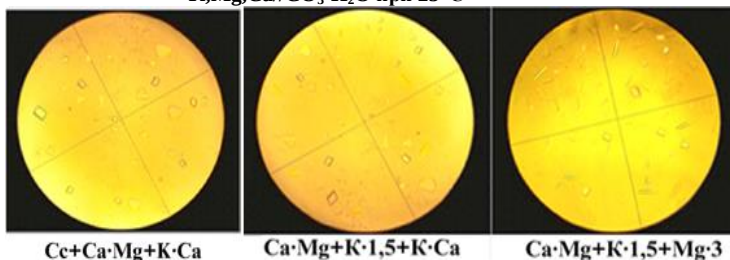


Рисунок 10. – Фотографии кристаллов равновесных твёрдых фаз в системе K,Mg,Ca//CO₃-H₂O при 25 °C

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. По методом трансляции определенно закономерности фазовых равновесий систем K,Mg,Ca//SO₄,CO₃-H₂O при температуры 0 и 25°C. На этой базе проведено исследований фазовых положений и связь между компонентов соответствующих четырёхкомпонентных подсистем и

выявлено, что закономерности формирования фазовых соотношений при переходе из низкокомпонентных систем к более сложным системам [3 – М, 5 – М, 6 – М].

2. Сравнение строения геометрии фазовые диаграммы при 0 и 25°C показывает, что при увеличении температуры, фазовых комплексов систем усложняется. Число невариантных точек из 9 до 13, моновариантных кривых с 25 до 35 и дивариантных полей с 22 до 32 становится больше. Следовательно, переход из 0 до 25°C возрастанием количества геометрических элементов диаграммы совместно, сделают на основе закономерности физико-химических анализов [2 – М, 7 – М].

3. Опираясь на закономерности переход из низкокомпонентных систем к сложным системам впервые было создано диаграммы фазовых равновесий пятикомпонентных систем $K, Mg, Ca / SO_4, CO_3 - H_2O$ и были разделены в отдельных фрагментах. Такой стиль для создания фазовых диаграмм четырехкомпонентных систем $K, Mg, Ca / SO_4 - H_2O$; $K, Mg, Ca / CO_3 - H_2O$; $K, Mg / SO_4, CO_3 - H_2O$; $Ca, Mg / SO_4, CO_3 - H_2O$ и $K, Ca / SO_4, CO_3 - H_2O$ при исследованной температуре тоже использовались [4 – М, 5 – М, 6 – М, 10 – М].

4. Практические исследования растворимости систем $K, Mg, Ca / SO_4 - H_2O$ и $K, Mg, Ca / CO_3 - H_2O$ доставил возможность, что приобрести информацию о состав фазовых равновесий при температуре 0 и 25°C. На основе полученных результатов, определены положения свойственных точек равновесий, созданы диаграммы растворимости обеих четырехкомпонентных систем, которое отражает их способность фазообразование при температурных интервалах исследований [8 – М, 9 – М].

5. Растворимость трёх- и четырехкомпонентных химических систем $K, Mg, Ca / SO_4 - H_2O$ и $K, Mg, Ca / CO_3 - H_2O$ при температурах 0 и 25 °C была изучена; их фазовый состав проверен методами химического и рентгенофазового анализа, приведены микрофотографии полученных кристаллов [1 – М, 8 – М, 9 – М].

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Полученной информацией при изучении фазовых равновесий в системах $K, Mg, Ca / SO_4, CO_3 - H_2O$, с помощью методом трансляции могут служить в качестве научного источника и как справочный источник для описания фазовых положений многокомпонентных водно-солевых систем. Установленные закономерности фазообразования и изменения фазового состава позволяют прогнозировать поведение компонентов исследуемой системы при различных условиях равновесия. Полученные результаты также могут служить научной основой для выбора благоприятных

технологических условий переработки природного и техногенного полиминерального сырья, в том числе промышленных отходов, содержащих сульфаты и карбонаты калия, магния и кальция. В состав исследуемой системы входят следующие твёрдые фазы: шенит ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$), полигалит ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$), эпсомит ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), сингенит ($K_2SO_4 \cdot CaSO_4 \cdot H_2O$), гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), арканит (K_2SO_4), кальцит ($CaCO_3$), магнезит ($MgCO_3 \cdot 3H_2O$), доломит ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$), соединение М·12 ($MgSO_4 \cdot 12H_2O$), двойная соль К·Са ($K_2CO_3 \cdot CaCO_3$), а также кристаллогидраты К·1,5 ($K_2CO_3 \cdot 1,5H_2O$) и К·2 ($K_2CO_3 \cdot 2H_2O$). Эти соединения имеют широкое практическое применение: шенит и полигалит используются как калийно-магнєвые удобрения в сельском хозяйстве для повышения урожайности и улучшения состава почв; эпсомит находит применение в медицине — при приготовлении ванн и как средство для снятия мышечных болей и усталости; сингенит и арканит являются источниками калия и сульфатов и применяются в сельском хозяйстве для улучшения питания растений; гипс и кальцит широко используются в строительной промышленности для производства цемента, штукатурок и строительных смесей; доломит применяется в производстве стекла, в строительстве и при изготовлении огнеупорного кирпича; магнезит ($MgCO_3 \cdot 3H_2O$), $MgSO_4 \cdot 12H_2O$, а также карбонаты калия, кальция $K_2CO_3 \cdot CaCO_3$ и $K_2CO_3 \cdot nH_2O$ (с различной степенью гидратации) находят широкое применение в химической промышленности, в производстве стекла, а также при приготовлении буферных растворов.

Промышленные предприятия, в которых образуются или используются такие соли, могут применять полученные в диссертации данные для разработки технологий вторичной переработки содєсодержащих отходов и рационального использования природных ресурсов.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан:

[1-М]. **Умаралии, С.** Разработка энергоэффективной технологии разделения многокомпонентной водно – сульфатной системы $K_2SO_4 - CaSO_4 - Al_2(SO_4)_3 - H_2O$ на основе температурно-индуцированной кристаллизации / П.А.Мухторов, М.Б. Усмонов, **С. Умаралий, Х. Курбанова, Х.И. Холов** // Политехнический журнал. Серия: Инженерные исследования. -2025, -№ 4 (72). С. 60 – 65.

[2-М]. **Умаралии, С.** Метод трансляции для построения фазовых диаграмм в многокомпонентных водно – солевых системах на примере К, Mg, Ca/SO₄, CO₃-H₂O / **С.Умаралий, М.Б.Усмонов, П.А. Мухторов** // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета

технологии и дизайна. Санкт-Петербург -2025. -№2. –С. 120-127.

[3-М]. **Умаралии, С.** Мувозинатҳои фазагии системаи $Mg, Ca// SO_4, CO_3 - H_2O$ дар ҳарорати $0^{\circ}C$ /. Л. Солиев, М.Б. Усмонов, **С.Умаралӣ**, Б. Ҷабборзода // Пайёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Баҳши илмҳои табиӣ. -2020. -№3. –С. 229 -234.

[4-М]. **Умаралии, С.** Мувозинатҳои фазагии системаи $K_2CO_3 - MgCO_3 - CaCO_3 - H_2O$ дар ҳарорати $25^{\circ}C$ / **С.Умаралӣ**, М.Б. Усмонов // Паёми Донишгоҳи омӯзгорӣ. Баҳши илмҳои табиӣ. -2021. -№1(10-11). – С.130-136.

[5-М]. **Умаралии, С.** Мувозинатҳои фазагии системаи панҷкомпонентаи $K, Mg, Ca// SO_4, CO_3 - H_2O$ дар ҳарорати $25^{\circ}C$ / **С.Умаралӣ** // Пайёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Баҳши илмҳои табиӣ. -2022. -№1. –С. 223-233.

[6-М]. **Умаралии, С.** Муайянсозии мувозинатҳои фазагии системаи панҷкомпонентаи $K, Mg, Ca// SO_4, CO_3 - H_2O$ дар ҳарорати $0^{\circ}C$ / **С.Умаралии**, М.Б. Усмонов // Пайёми политехникӣ. Баҳши татқиқотҳои муҳандисӣ. -№4(60). -2022. –С.72-79.

[7-М]. **Умаралии, С.** Таҳлили муқоисавии мувозинатҳои фазагӣ ва диаргаммаи системаи $K_2CO_3 - MgCO_3 - CaCO_3 - H_2O$ дар ҳароратҳои 0 ва $25^{\circ}C$ / **С.Умаралӣ**, М.Б. Усмонов // Паёми Донишгоҳи омӯзгорӣ. Баҳши илмҳои табиӣ. -2023. -№4(20). –С.93-99.

[8-М]. **Умаралии, С.** Ҳалшавандагӣ ва мувозинатҳои фазагии системаи обӣ-намакии карбонатҳои калий, мағний ва калсий барои ҳарорати $25^{\circ}C$ / **С.Умаралӣ**, М.Б. Усмонов // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Баҳши илмҳои табиӣ. -2024. -№3. –С. 183-192.

[9-М]. **Умаралии, С.** Ҳалшавандагии системаи обӣ - намакии сулфатҳои калий, мағний, калсий барои ҳарорати $0^{\circ}C$ / **С.Умаралӣ**, П. А. Мухторов, М.Б. Усмонов // Паёми Донишгоҳи омӯзгорӣ. Баҳши илмҳои табиӣ. -2024. -№4. –С.104-110.

[10-М]. **Умаралии, С.** Исследованье фазовых равновесий в системе $K, Al//SO_4, F - H_2O$ при $25^{\circ}C$ с использованием метода трансляции / П. А. Мухторов, **С.Умаралӣ**, М.Б. Усмонов // Известия НАНТ. -2025. -№1 (198). –С.178-186.

Тезисы докладов на международных и республиканских конференциях

[11-М]. **Умаралии, С.** Фазовые равновесия системы, $K_2SO_4 - MgSO_4 - CaSO_4 - H_2O$ при $0^{\circ}C$ / Л. Солиев, **С.Умаралӣ**. А. Тошов // Материалы международной конференции теплофизической школы. – М.Тамбов. -6. -11.10.2015. –С. 418-424.

[12-М]. **Умаралии, С.** Строение фазового комплекса системы $K_2SO_4 - MgSO_4 - CaSO_4 - H_2O$ при 0 и $25^{\circ}C$ / А. Тошов // Байкальский материаловедческий форум. –Улан –Уде, -2018. –С. 108-111.

[13-М]. **Умаралии, С.** Фазовые равновесия системы $K, Mg//SO_4 CO_3 - H_2O$ при $25^{\circ}C$ / Л. Солиев, **С.Умаралӣ**, Б. Ҷабборзода //

Международный научный журнал. «Символ науки». -2018. –С.11-15.

[14-М]. **Умаралии, С.** Строение фазового комплекса водно-солевой системы из сульфатов и карбонатов калия, кальция при 0° С / Л. Солиев, **С.Умаралий, Г. Сино** // Международный научный журнал. «Символ науки». -2019. –С.12-16.

[15-М]. **Умаралии, С.** Мувозинатҳои фазагии системаи $K, Ca // SO_4, CO_3 - H_2O$ дар ҳарорати 25°С / Л. Солиев, **С.Умаралий** // Материалы IV. Международной научно-практической конференции. –Астана. -2019. -С 336-340.

[16-М]. **Умаралии, С.** Таҳлили муқоисавии мувозинатҳои фазагии системаи $K, Ca // SO_4, CO_3 - H_2O$ дар ҳароратҳои 0 ва 25°С / Л. Солиев, **С.Умаралий** // Конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ «Таҳқиқи таълими тафриқа» . –Душанбе. -2019 . –С. 164-167.

[17-М]. **Умаралии, С.** Таҳлили муқоисавии мувозинатҳои фазагии системаи $Mg, K // SO_4, CO_3 - H_2O$ дар ҳароратҳои 0 ва 25°С / Л. Солиев, **С.Умаралий, Б. Ҷаборода** // Международной научно практической конференции «Наука и образование в современном мире: ВЫЗОВЫ XXI века». -Нур-Султан, -Казахстан. -2019 . -С.135-138.

[18-М]. **Умаралии, С.** Таҳлили муқоисавии мувозинатҳои фазагии системаи $Mg, Ca // SO_4, CO_3 - H_2O$ дар ҳароратҳои 0 ва 25°С / Л. Солиев, **С.Умаралий** // Конференсияи Ҷумҳуриявии илмию амалӣ дар мавзӯи «Заминаҳои рушд ва дурнамои илми химия» дар Ҷумҳурии Тоҷикистон, Башида ба 60-солагии факултети химия. –Душанбе. -2020. –С.41-44.

[19-М]. **Умаралии, С.** Муайянсозии мувозинатҳои фазагии системаи $K_2CO_3 - MgCO_3 - CaCO_3 - H_2O$ дар ҳарорати 25°С / **С.Умаралий, М.Б.Усмонов**

Маводи конференсияи илмӣ- методии байналмилалӣ дар мавзӯи «Нақши илмҳои табиӣ рӯйи ва методикаи таълими онҳо дар раванди саноатикунории бо суръати кишвар» Баҳшида ба амали гардони «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва рӯйи дар саҳаи илмӣ маориф (солҳои 2020-2040)». -Душанбе . -2022. –С. 338-380.

[20-М]. **Умаралии, С.** Строение фазового комплекса системы $Mg, Ca // SO_4, CO_3 - H_2O$ при 0°С / **С.Умаралий, М.Б.Усмонов** // Материалы всероссийской научной конференции смеждународным участием. Байкальский материаловедческий форум. –Улан-Уде. -2022. –С.172-174.

[21-М]. **Умаралии, С.** Мувозинатҳои фазагии системаи панҷкомпонентаи $K, Mg, Ca // SO_4, CO_3 - H_2O$ дар ҳарорати 0°С / **С.Умаралий, М.Б.Усмонов** // Маводи конференсияи илмӣ- назариявии баналмилалӣ дар мавзӯи «Рушди илмҳои химия, технология ва экология». -Душанбе. -2023. –С. 107-110

[22-М]. **Умаралии, С.** Фазовые равновесия системы сульфатов и

карбонатов калия, магния, кальция при 25°C / **С.Умаралӣ, М.Б.Усмонов** // Материалы международной научно-практической конференции по теме «Актуальные проблемы химической науки промышленности». – Фаргона. -2023. -С.24-28.

[23-М]. **Умаралии, С.** Фазовые равновесия системы сульфатов и карбонатов калия, магния, кальция при 0 °С **С.Умаралӣ, М.Б.Усмонов** // 88-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Белорусского государственного технологического университета. -2024. -С.114-117.

[24-М]. **Умаралии, С.** Сроение фозового комплекса системы из сульфатов и карбонатов калия, кальция при 0 и 25°C / **С.Умаралӣ, М.Б.Усмонов** // Международная конференция «Химическая и образование, проблемы и перспективы развития» Дегистанский государственный педагогический университет им. Р. Гамзатова. – Махачкала. -2024. -С.90-93.

[25-М]. **Умаралии, С.** Диаграммаи ҳалшавандагии системаи обӣ-намакии сульфатҳои калий, магний, кальсий барои ҳарорати 0°C / **С.Умаралӣ, М.Б.Усмонов, П. А. Мухторов** // Маҷмуи маҷмӯи Ҳонишҳои XIX Нӯмоновӣ «Рушди кимиё бунёди ва амалӣ ва саҳми он дар саноатикунонии кишвар». – Душанбе. -2024. –С.156-160.

[26-М]. **Умаралии, С.** Диаграммаи ҳолатии системаи К, Mg, Ca//SO₄-H₂O барои ҳарорати 25°C аз рӯи далелҳои ҳалшавандагӣ / **С.Умаралӣ, М.Б.Усмонов** // «Вазъи кунунӣ ва дурнамои таҳлили физико–химиявӣ», бахшида ба элон гардидани ҳадафи чоруми стратегӣ–саноатикунонии кишвар, солҳои 2022–2026. – Душанбе. -2025. –С. 127-130.

АННОТАТСИЯ

ба рисолаи Умаралии Сафарали дар мавзуи «Ҳалшавандагӣ ва мувозинатҳои фазагии системаи сульфатҳо ва карбонатҳои калий, мағний ва калсий барои ҳароратҳои 0 ва 25°C» барои дарёфти дараҷаи илмӣ номзади илмӣ химия аз рӯи ихтисоси 1.4.2 – Химияи ғайриорганикӣ

Калимаҳои калидӣ: системаи бисёркомпонента, мувозинати фазагӣ, ҳалшавандагӣ, диаграмма, усули транслятсия, фазаи сахт, фазаи моеъ, ҳарорат, элементҳои геометрия.

Объекти таҳқиқот: системаи панҷкомпонентаи обӣ-намакии иборат аз сульфатҳо ва карбонатҳои калий, мағний ва калсий буда, инчунин зерсистемаҳои чоркомпонентаи он: $K, Mg, Ca//SO_4-H_2O$; $K, Mg, Ca//CO_3-H_2O$; $K, Mg //SO_4, CO_3-H_2O$; $Ca, Mg//SO_4, CO_3-H_2O$; $K, Ca//SO_4, CO_3-H_2O$ ва системаҳои секомпонентаи ин системаҳои чоркомпонентаро ташкилдиханда мебошад.

Ҳадафи таҳқиқот: Муайян кардани қонуниятҳои ҳалшавандагӣ ва мувозинатҳои фазагӣ дар системаи панҷкомпонентаи $K, Mg, Ca//SO_4, CO_3-H_2O$ дар ҳароратҳои 0 ва 25°C, инчунин омӯзиши тағйирёбии параметрҳои концентратсионии фазаҳо дар шаклҳои геометрии нуктаҳо, хатҳо ва майдонҳои кристаллизатсионӣ мебошад.

Усулҳои таҳқиқот: омӯзиши ҳалшавандагӣ ва мувозинатҳои фазагии системаи сульфатҳо ва карбонатҳои калий, мағний ва калсий ва системаи чоркомпонентаи онро ташкилдиханда: $K, Mg, Ca//SO_4-H_2O$; $K, Mg, Ca//CO_3-H_2O$; $K, Mg//SO_4, CO_3-H_2O$; $Ca, Mg//SO_4, CO_3-H_2O$; $K, Ca//SO_4, CO_3-H_2O$ барои ҳароратҳои 0 ва 25°C бо истифода аз усули транслятсия ва массентри мебошад.

Навгонии илмӣ таҳқиқот дар он асос меёбад, ки:

- таҳлили маълумоти гузаронидшуда, дараҷаи омӯзиши системаҳои обӣ - намакии $K, Mg, Ca//SO_4, CO_3-H_2O$ арзёби гардид ва таркиби зерсистемаҳои онҳо муайян карда шуд;

- дар асоси маълумот оид ба мувозинатҳои фазагии зерсистемаҳо ва элементҳои сатҳҳои гуногун бори аввал диаграммаҳои фазагии системаи $K, Mg, Ca//SO_4, CO_3-H_2O$ дар ҳароратҳои 0 ва 25°C сохта шуданд, ки муносибати байни фазаҳои саҳти мувозинатиро инъикос мекунанд;

- бори аввал дар ҳароратҳои 0 ва 25°C хусусиятҳои сохтори комплекси фазагии системаи панҷкомпонента муайян карда шуда, тағироти он бо баландшудани ҳарорат муайян гардид;

- мавқеи майдонҳои дивариантии фазаҳои саҳти кристаллӣ муайян карда шуданд ва дар асоси онҳо фрагментатсияи диаграммаҳои фазагӣ дар ҳароратҳои таҳқиқотӣ анҷом дода шуд;

- дар натиҷаи таҳқиқоти таҷрибавӣ маълумоти нав оид ба ҳалшавии системаҳои чоркомпонентаи $K, Mg, Ca//SO_4-H_2O$ ва $K, Mg, Ca//CO_3-H_2O$ дар ҳароратҳои 0 ва 25°C ба даст оварда шуд. Хусусиятҳои мувозинатҳои фазагӣ онҳо муайян гардида, диаграммаҳои дахлдори ҳалшавандагӣ сохта шуданд.

Дараҷаи истифода: Натиҷаҳои дар системаи сульфатҳо ва карбонатҳои калий, мағний ва калсий барои ҳароратҳои 0 ва 25°C бадастомада, метавонанд ҳамчун маълумотномаи илмӣ барои тадқиқи системаҳои мураккаби обӣ-намакӣ истифода шаванд. Онҳо инчунин асоси илмӣ барои таҳияи технологияҳои коркарди ашёи хоми полиминералӣ ва партовҳои моеъи саноатӣ, ки дорои сульфатҳо ва карбонатҳои калий, мағний ва калсий мебошанд, истифода бурда мешаванд.

Тадқиқи амалии натиҷаҳои таҳқиқот: Қонуниятҳои мувозинатҳои фазагии муқарраркардашуда метавонанд асоси бунёди шароити оптималии коркарди ашёи полиминералии табиӣ ва техникии (партовҳои саноатӣ) хусусан партовҳои моеъи заводи истеҳсоли алюминий, ки дар таркибашон сульфатҳо, карбонатҳои калий, мағний ва калсий дошта, истифода шаванд.

АННОТАЦИЯ

к диссертации Умарали Сафарали на тему «Растворимость и фазовые равновесия в системе сульфатов и карбонатов калия, магния и кальция при температурах 0 и 25 °С», представленной на соискание учёной степени кандидата химических наук по специальности 1.4.2. Неорганическая химия

Ключевые слова: многокомпонентная система, фазовое равновесие, растворимость, диаграмма, метод трансляции, твёрдая фаза, жидкая фаза, температура, геометрические элемент.

Объект исследования: пятикомпонентная водно-солевая система, состоящая из сульфатов и карбонатов калия, магния и кальция, а также её четырёхкомпонентные подсистемы: $K, Mg, Ca // SO_4-H_2O$; $K, Mg, Ca // CO_3-H_2O$; $K, Mg // SO_4, CO_3-H_2O$; $Ca, Mg // SO_4, CO_3-H_2O$; $K, Ca // SO_4, CO_3-H_2O$, и входящие в их состав трёхкомпонентные системы.

Цель исследования: выявление закономерности растворимости фазовые превращений в водно – солевых многокомпонентных систем сульфатов, карбонатов калия, магния, кальция и установление состав фазовых равновесий четырёхкомпонентных систем при температуре 0 и 25 °С.

Методы исследования: включают экспериментальное изучение растворимости и фазовых равновесий в системе сульфатов и карбонатов калия, магния и кальция, а также её четырёхкомпонентных подсистем $K, Mg, Ca / SO_4-H_2O$; $K, Mg, Ca / CO_3-H_2O$; $K, Mg / SO_4, CO_3-H_2O$; $Ca, Mg / SO_4, CO_3-H_2O$; $K, Ca / SO_4, CO_3-H_2O$ при температурах 0 и 25 °С с применением метода трансляции и масс-центрического анализа.

Научная новизна выполненной диссертационной работы заключается в том, что:

- определено состояние изученности пятикомпонентной системы сульфатов и карбонатов калия, магния и кальция;

- впервые методом трансляции построена диаграмма фазовых равновесий данной системы при температурах 0 и 25 °С;

- впервые для системы $K, Mg, Ca / SO_4, CO_3-H_2O$ при температурах 0 и 25 °С проведено сравнительный анализ структуры, в результате которого точно определено количество невариантных точек, моновариантных линий и дивариантных областей, а также проанализирована общая фазовая структура системы;

- для данной системы выполнена фрагментация областей кристаллизации твёрдых фаз при указанных температурах;

- экспериментально изучена растворимость систем $K, Mg, Ca / CO_3-H_2O$ и $K, Mg, Ca / SO_4-H_2O$ при температурах 0 и 25 °С, построены их фазовые (состояния) диаграммы, а растворимость компонентов подтверждена методами химического, кристаллооптического и рентгенофазового анализа.

Степень использования: Результаты, полученные для системы сульфатов и карбонатов калия, магния и кальция при температурах 0 и 25 °С, могут быть использованы в качестве научно-справочного материала при дальнейшем изучении сложных многокомпонентных водно-солевых систем. Они также служат научной основой для разработки технологий переработки полиминерального сырья и жидких промышленных отходов, содержащих сульфаты и карбонаты калия, магния и кальция.

Практическое применение результатов исследования: установленные закономерности фазовых равновесий могут быть использованы при определении оптимальных условий переработки природного и техногенного полиминерального сырья, в частности жидких отходов алюминиевого производства, содержащих сульфаты и карбонаты калия, магния и кальция.

ANNOTATION

to the dissertation of Umarali Safarali on the topic «Solubility and Phase Equilibria in the System of Sulfates and Carbonates of Potassium, Magnesium and Calcium at Temperatures of 0 and 25 °C», submitted for the degree of Candidate of Chemical Sciences in the specialty 1.4.2 – Inorganic Chemistry

Keywords: multicomponent system, phase equilibrium, solubility, diagram, translation method, solid phase, liquid phase, temperature, geometric element.

Object of scientific research: the five-component aqueous-salt system consisting of sulfates and carbonates of potassium, magnesium, and calcium, as well as its four-component subsystems: $K, Mg, Ca // SO_4-H_2O$; $K, Mg, Ca // CO_3-H_2O$; $K, Mg // SO_4, CO_3-H_2O$; $Ca, Mg // SO_4, CO_3-H_2O$; $K, Ca // SO_4, CO_3-H_2O$, and their constituent ternary systems.

Aim of the Research: to identify the regularities of solubility and phase transformations in multicomponent aqueous-salt systems containing sulfates and carbonates of potassium, magnesium, and calcium, and to determine the phase equilibrium compositions of the four-component systems at temperatures of 0 and 25 °C.

Research Methods: The research methods include the experimental investigation of solubility and phase equilibria in the system of potassium, magnesium, and calcium sulfates and carbonates, as well as its four-component subsystems: $K, Mg, Ca // SO_4-H_2O$; $K, Mg, Ca // CO_3-H_2O$; $K, Mg // SO_4, CO_3-H_2O$; $Ca, Mg // SO_4, CO_3-H_2O$; and $K, Ca // SO_4, CO_3-H_2O$ at temperatures of 0 and 25 °C, using the translation method and the mass-center analysis method.

Scientific Novelty of the Dissertation Research consists of the following:

- the current state of research on the five-component system of potassium, magnesium, and calcium sulfates and carbonates has been assessed.

- for the first time, phase equilibrium diagrams of the investigated system at temperatures of 0 and 25 °C have been constructed using the translation method.

- For the first time, a comparative structural analysis of the $K, Mg, Ca // SO_4, CO_3-H_2O$ system at temperatures of 0 and 25 °C has been carried out. As a result, the numbers of invariant points, monovariant lines, and divariant regions have been accurately determined, and the overall phase structure of the system has been analyzed.

- The crystallization regions of solid phases in the investigated system have been subdivided into individual fragments at the specified temperatures.

- The solubility of the $K, Mg, Ca // CO_3-H_2O$ and $K, Mg, Ca // SO_4-H_2O$ systems has been experimentally investigated at temperatures of 0 and 25 °C. Their phase equilibrium diagrams have been constructed, and the solubility data have been verified using chemical, crystal-optical, and X-ray diffraction phase analyses.

Potential Applications of the Research Results: The results obtained for the system of potassium, magnesium, and calcium sulfates and carbonates at temperatures of 0 and 25 °C can be used as scientific reference data for further investigations of complex multicomponent aqueous-salt systems. They also provide a scientific basis for developing technologies for processing polymineral raw materials and liquid industrial waste containing sulfates and carbonates of potassium, magnesium, and calcium.

Practical Application of the Research Results: The established regularities of phase equilibria can be used to determine the optimal conditions for processing natural and technogenic polymineral raw materials, particularly liquid waste from aluminum production containing sulfates and carbonates of potassium, magnesium, and calcium.