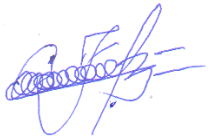
ДОНИШГОҲИ ДАВЛАТИИ ОМӮЗГОРИИ ТОҶИКИСТОН
ба номи САДРИДДИН АЙНӢ

Бо ҳуқуқи дастнавис

ВБД: 546.32+546.46+546.266
ТКБ: 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^{o}С

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т И
диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои химия
аз рӯйи ихтисоси 1.4.2. Химияи ғайриорганикӣ

ДУШАНБЕ – 2026

Диссертатсия дар лабораторияи илмӣ-тадқиқотии «Омӯзиши системаҳои бисёркомпонента бо усули транслятсияи 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 Айнӣ ба иҷро расонида шудааст.

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

Муқарризони расмӣ: **Абулхаев Владимир Ҷалолович** – доктори илмҳои химия, профессор, мудири озмоишгоҳи «Химияи пайвастагиҳои гетеросиклӣ» - и Институти химияи ба номи В.И Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Акрамзода Рустами Ҷурахон – доктор фалсафа (PhD), доктор аз рӯйи ихтисоси 6D060600 – Химия (6D060601 – Химияи ғайриорганикӣ), мудири кафедраи химияи Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Шириншоҳ Шоҳтемур.

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

Ҳимояи диссертатсия санаи «08» декабри соли 2026 соати «10^{00}» дар ҷаласаи Шурои диссертатсионии 6D. KOA – 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 фиристода шуд

Котиби Шурои диссертатсионӣ,
н.и.х., дотсент Бобокалонов Т.Б.

МУҚАДДИМА

Мубраммии мавзуи тадқиқот. Яке аз роҳҳои муҳими ҳалли масъалаи коркарди маводи табиӣ ва моддаҳои техногенӣ ин омӯзиши таркиби бисёркомпонентии мураккаби маъданҳо тавассути маҳлулҳои 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 оварад.

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

Системаҳои бисёркомпонентае, ки мавриди омӯзиш қарор доранд, объектҳои табиие 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 хокшиносӣ низ мебошанд.

Тадқиқоти диссертатсионӣ дорои на танҳо аҳамияти назариявию 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.

Дараҷаи таҳқиқи мавзуи илмӣ. Поягузори назарияи мувозинатҳои фазагӣ дар системаҳои химиявӣ Д.В. Гиббс буда, аввалин шуда шароитҳои мувозинати химиявӣ ва қоидаи фазаҳоро пешниҳод намудааст. Дар такмили 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 ченшавандаи системаҳои химиявӣ равона гардида, имконияти сохтани диаграммаҳои ҳолатии онҳоро фароҳам меорад, муайян намудааст. Назария ва усулҳои таҳқиқи системаҳои химиявӣ, аз он ҷумла системаҳои химиявии бисёркомпонента аз тарафи як қатор олимони дигар ба монанди В.Я. Аносов [2], Я.Г. Горощенко [3], Ф.М. Перельман [7], В.А. Жариков [8], В.И. Посыпайко [5], А.С. Трунин [6], Л. Солиев [4], М.Т. Жумаев [10], И.М. Низомов [9] ва дигарон такмил дода шудааст. Дар баробари ин назария ва усулҳои таҳқиқи системаҳои химиявӣ, махсусан системаҳои химиявии бисёркомпонентаи обӣ- намакӣ, ба такмил 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 намедиҳанд, 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 сахти дар мувозинатбуда душвориҳо доранд.

Таҳлили адабиётҳои мавҷуда нишон дод, ки системаи панҷкомпонентаи иборат аз сулфатҳо ва карбонатҳои калий, магний ва калсий барои ҳароратҳои 0 ва 25 ^{o}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 табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф» барои солҳои 2020- 2040, вобаста ба иҷрои нақшаи мавзӯи илмӣ тадқиқотии фармоишии “Омӯзиши физико – химиявии системаи аз сулфатҳо, фторидҳои натрий, магний, калсий ва алюминий бо об ташкилёфта дар самти беҳдошти экологӣ” рақами қайди давлатиаш (РБ № 0125TJ700) ба иҷро расонида шудааст.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади таҳқиқот. Муайян намудани қонуниятҳои ҳалшавандагӣ ва тағйироти фазагӣ дар системаҳои бисёркомпонентаи обию намакӣ, ки пайвастагиҳои сулфатӣ ва карбонатии калий, магний ва калсийро бо муқаррар намудани таркиби фазаҳои мувозинатии системаҳои чоркомпонента дар ҳароратҳои 0 ва 25^{o}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^{o}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 ^{o}C;
- сохтани диаграммаҳои схематикии мувозинатҳои фазагии системаи K,Mg,Ca//SO_4,CO_3 – H_2O дар ҳароратҳои 0 ва 25^{o}C дар асоси қонуниятҳои гузариш аз системаҳои камкомпонента ба сатҳҳои системаҳои бисёркомпонента;
- муайян намудани ҷойгиршавии мутақобила ва ҳудудҳои

майдонҳои кристаллизатсияи фазаҳои сахти 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 ^oC, 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 ташкилдиҳанда мебошад.

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

Навгонии илмии 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 фазавии системаи K, Mg,Ca//SO_4,CO_3 – H_2O дар ҳароратҳои 0 ва 25^oC сохта шуданд, ки муносибати байни фазаҳои сахти мувозинатиро инъикос мекунанд;

- бори аввал дар ҳароратҳои 0 ва 25^oC 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 диаграммаҳои 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^oC ба даст оварда шуд. Хусусиятҳои мувозинатҳои фазави онҳо муайян гардида, диаграммаҳои дахлдори ҳалшавандагӣ сохта шуданд.

Нуктаҳои ба ҳимоя пешниҳодшаванда:

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

- бо истифода аз усули транслятсия 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 таҳқиқшаванда сохта шуда, инчунин хусусиятҳои ташаккули майдонҳои кристаллизатсияи фазаҳои сахт муайян гардидаанд;

- системаҳои чоркомпонентаи K,Mg,Ca//SO_4-H_2O ва K,Mg,Ca//CO_3-H_2O дар ҳароратҳои 0 ва 25 ^oC ба таври таҷрибавӣ таҳқиқ гардида, таркиби фазаҳои сахти мувозинатӣ ва мавқеи нуқтаҳои нонвариантии онҳо муайян карда шуд ва дар асоси натиҷаҳои бадастомада диаграммаи ҳалшавандагии ин ду система барои ҳароратҳои додашуда сохта шуданд.

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-маълумотӣ барои таҳқиқ ва таҳлили минбаъдаи системаҳои бисёркомпонентаи обию намакӣ истифода гардад;

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

Дараҷаи эътимоднокии натиҷаҳо. Эътимоднокии натиҷаҳои бадастомада тавассути коркард ва таҳлили онҳо бо усуҳои муосири физико-химиявӣ, апробатсияи онҳо дар конференсияҳои ҷумҳуриявию байналхалкӣ, симпозиум ва нашри мақолаҳо дар маҷаллаҳои тақризшавандаи КОА асоснок менамоянд.

Мутобиқати 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 хосияти пайвастаҳои ғайриорганикӣ.

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

Саҳми шахсии довталаби дараҷаи 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 омӯзгории Тоҷикистон ба номи С. Айнӣ (Душанбе, 2014-2025); конференсияи илмии 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 – практичекой конференции «Пути и направления рационального использования водных ресурсов Таджикистана» (Душанбе, 2017); "Байкалский 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 байналмилалии илмию амалӣ дар мавзӯи «Проблемаҳои муосири саноати металлургӣ», (Душанбе, 2021); Конференсияи илмӣ- методии байналмилалӣ дар мавзӯи «Нақши илмҳои таббиӣ, риёзӣ ва методикаи таълими онҳо дар раванди саноатикунонии бо суръати кишвар» (Душанбе, 2022); Конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ – амалӣ дар мавзӯи "Вазъи кунунӣ ва дурнамои таҳлили физико – химиявӣ", бахшида ба эълон гардидани ҳадафи чоруми стратегӣ – саноатикунонии кишвар, ва гиромидошти 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», бахшида ба эълон гардидани ҳадафи чоруми стратегӣ–саноатиунонии кишвар, солҳои 2022–2026 "Солҳои рушди саноат" ва гиромидошти хотири арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон доктори илмҳои химия профессор Лутфулло Солиев (Душанбе 2025), Маҷмӯи маводи конференсияи байналмилалии илмию амалӣ дар мавзуи «Пайвастаҳои комплексӣ ва ҷанбаҳои истифодабарии онҳо» (Душанбе 2025) муҳокима шудаанд.

Интишорот аз рӯи мавзӯи диссертатсия. Дар асоси материалҳои кори диссертатсионӣ 10 мақола, (дар маҷаллаҳои тақризшавандаи КОА назди Президенти ҶТ) ва 16 фишурдаи мақола аз чоп баромадааст.

Сохтор ва ҳаҷми кори диссертатсия. Диссертатсия дастнависест, ки дар 143-саҳифаи компютерӣ пешниҳод шуда, аз муқаддима, 3 боб ва хулоса иборат буда, 39 расм, 39 ҷадвал, рӯйхати

адабиёти истифодашуда бо дарназардошти 125 адад дарбар мегирад.

МАЗМУНИ АСОСИИ КОР

Кори диссертатсионӣ ба муайян намудани қонуниятҳои ҳалшавандагӣ, фазаҳосилшавӣ вамувозинатҳои фазагӣ дар системаи бисёркомпонентаи обӣ-намакии $K,Mg,Ca//SO_4,CO_3$-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 интихобшуда нокифоя мебошанд. Вобаста ба ин, ҳангоми гузаронидани таҳқиқот диққати асосӣ ба муайян намудани таркиби фазаҳои сахти 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 тақиқоти 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 сахт 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 сахти мувозинатӣ муайян гардиданд. Ҳамзамон, ҳалшавандагии системаҳои чоркомпонентаи сулфатҳо ва карбонатҳои калий, магний, калсий дар ҳарорати 25°C омӯхта шуда диаграммаи ҳалшавандагии онҳо сохта шуд. Эътимоднокии маълумотҳои таҷрибавии бадастомада бо натиҷаҳои таҳлили рентгенофазавӣ 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 пайвастҳои

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 технологии 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 (ҳарорат, фишор, консентратсия) муайян ва пешгӯи 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 нуқтаҳои нонвариантӣ, хатҳои моновариантӣ ва майдонҳои дивариантӣ 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 компонентагӣ 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.

Тибқи 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 вуҷуд надоранд.

Ҳалшавандагии системаҳои секомпонента, ки дар ҳароратҳои 0 ва 25 ^oC омухташуда 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 ^0C 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 илмии 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^oC ҷамъбаст карда шуд. Таҳлили гузаронидашуда имкон дод, ки сатҳи омӯзиши зерсистемаҳои алоҳида муайян гардида, системаҳое муайян карда шаванд, ки оиди мувозинатҳои фазагии 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 панҷкомпонентаи K,Mg,Ca//SO_4,CO_3-H_2O ҳароратҳои 0 ва 25°C

Системаҳо	Компонентнокӣ	Ҳарорат	
		0^0C	25^0C
K,Mg,Ca//SO_4,CO_3-H_2O	5	-	-
K,Mg//SO_4,CO_3-H_2O	4	-	-
Mg,Ca//SO_4,CO_3-H_2O	4	-	-
K,Ca//SO_4,CO_3-H_2O	4	-	-
K,Mg,Ca//SO_4-H_2O	4	-	+
K,Mg,Ca//CO_3-H_2O	4	-	-
K,Mg//SO_4-H_2O	3	+	+
K //SO_4,CO_3-H_2O	3	+	+
Mg//SO_4,CO_3-H_2O	3	-	+
K,Mg//CO_3-H_2O	3	-	-
Mg,Ca//SO_4-H_2O	3	-	+
Mg,Ca//CO_3-H_2O	3	+	+
Ca//SO_4,CO_3-H_2O	3	+	+
Ca,K //SO_4-H_2O	3	+	+
Ca,K//CO_3-H_2O	3	-	-

Фазаҳосилшавӣ ва ҳалшавандагӣ дар ифодаҳои геометрии системаи бисёркомпонентаи K,Mg,Ca//SO_4,CO_3-H_2O барои 0^oC 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 фазавӣ тавсиф карда мешаванд. Тибқи маълумоти адабиёт дар ҳарорати 0°C барои системаҳои мазкур ташаккули як ё ду нуқтаи нонвариантӣ хос буда, дар онҳо мувозинати фазавӣ байни фазаҳои сахти Ар + Ше, Ше + М·12, Ар + Сн, Сн + Гп ва М·12 + Гп ба вуҷуд меояд. Дар ин ҳолат се нуқта дар сатҳи системаҳои чоркомпонента ба вуҷуд меояд: E_14, E_2^4, E_3

Системаи K,Mg,Ca//CO_3-H_2O

«Системаи чоркомпонентаи 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 нонвариантӣ тавсиф шуда, шароити мувозинати фазаҳои сахтро муайян менамояд» [13, с. 11]. Ташаккули чунин мувозинатҳо дар ин зерсистемаҳо метавонад бо мисолҳои пайвастшавии фазаҳо мисли Cc+Mg·Ca, M·3+Mg·Ca ва K·2+M·3, инчунин Cc+K·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 K,Mg //SO_4,CO_3-H_2O

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 нонвариантӣ хос буда, ба ҳар яке аз се системаи боқимонда яктогӣ нуқтаи нонвариантӣ хос аст. Ҳангоми транслятсия шудан аз сатҳи секомпонета ба сатҳи чоркомпонента чунин нуқтаҳои нонвариантӣ, бо фазаҳои сахти дар мувозинат буда хос ҳастанд: E_6^4=Ше+K·2+M·3; E_7^4= Ap+Ше+K·2 ва E_8^4= Ше+ M·12+M·3.

Системаи Ca,Mg//SO_4,CO_3-H_2O

Ин системаи чоркомпонента зерсистемаҳои секомпонентаи зеринро дар бар мегирад: Ca,Mg//SO_4-H_2O, Ca,Mg//CO_3-H_2O, Ca//SO_4,CO_3-H_2O и Mg//SO_4,CO_3-H_2O. “Барои зерсистемаи Ca//SO_4,CO_3-H_2O ду нуқтаи нонвариантӣ ва барои се системаи дигар яктоги нуқтаи нонварианти хос аст. Дар ҷараёни транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи секомпонета ба сатҳи чоркомпонентагӣ нуқтаҳои нави нонвариантӣ ҳосил мешаванд, ки ҳар яке ба мувозинати муайяни фазаҳои сахт мувофиқат мекунанд [14, с. 230]: E_9^4= M·12+ Mg·Ca +M·3; E_{10}^4=Гп+ M·12+ Mg·Ca ва E_{11}^4= Гп+Cc+ Mg·Ca. Ҳамин тавр, барои ин система се нуқтаи нонвариантӣ муайян карда шудаанд, ки онҳо фазаҳои сахти дар мувозинатбударо инъикос мекунанд.

Системаи K,Ca//SO_4,CO_3-H_2O

Дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи секомпонентагӣ ба сатҳи чоркомпонентагӣ се нуқтаи нонвариантӣ E_{12}^4, E_{13}^4 ва E_{14}^4 муайян гардид. Ин нуқтаҳо ба мувозинати муштараки фазаҳои сахти мувофиқ, яъне Сн+Ар+ К·2, Сн+Гп+ Сс ва Сс+Сн+К·2 муносиб мебошанд. Маҷмӯи фазаҳои сахти мувозинатии Сн+Ар+ К·2, Сн+Гп+ Сс ва Сс+Сн+К·2 боиси ташаккулёбии нуқтаҳои нонвариантии мазкур дар систмемаи таҳқиқшаванда гардидааст.

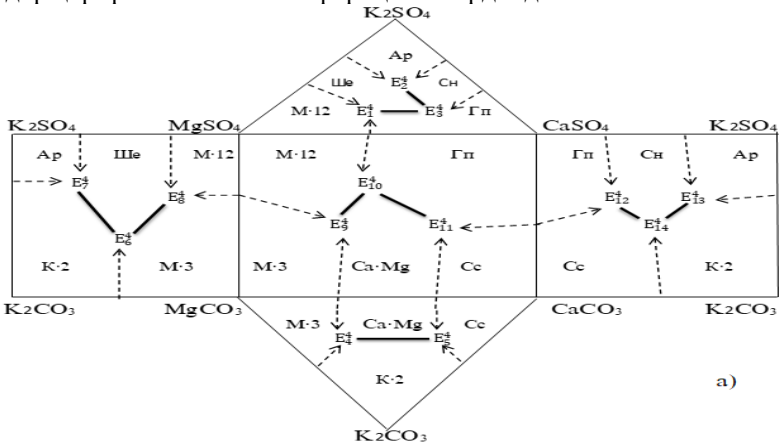
Пас аз муттаҳид намудани майдонҳои кристаллизатсияи фазаҳои сахти якхелаи системаҳои чоркомпонента, ки системаи панҷкомпонентаро ташкил медиҳанд, нуқтаҳои нонвариантӣ ва фазаҳои сахти мувозинатии ба онҳо мувофиқ дар расми 1 нишон дода шудаанд. Дар ин ҳолат сохтори диаграммаи мувозинатҳои фазагӣ дар сатҳи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

мувозинатҳои фазагии система дар сатҳи панҷкомпонентагӣ истифода карда меашавад.

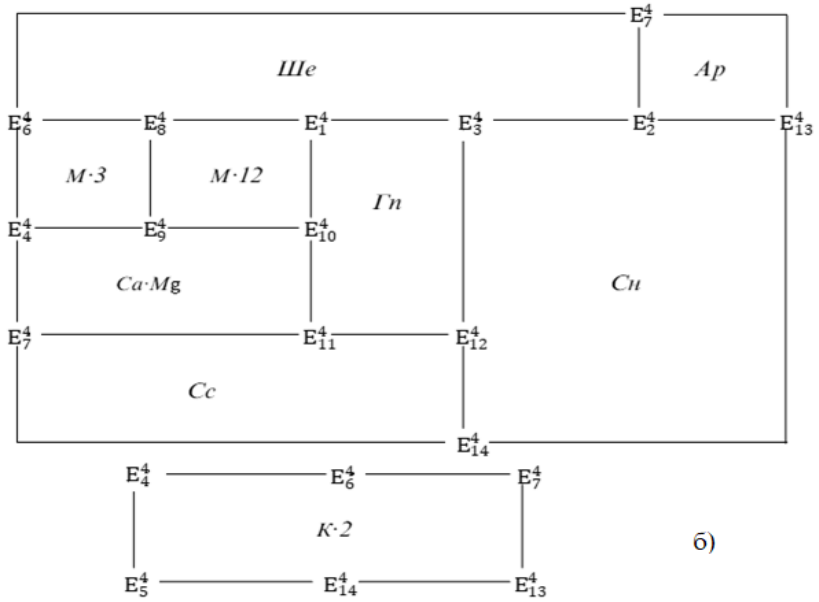
Ҷадвали 2. – Мувозинатҳои фазагӣ дар нуқтаҳои нонвариантии сатҳи чоркомпонента барои ҳарорати 0°С

Нуқтаҳои нонвариантӣ	Система	Фазаҳои сахти дар мувозинат буда
E_1^4	K,Mg,Ca//SO_4-H_2O	М·12+Гп+Ше
E_2^4		Ар+Ше+Сн
E_3^4		Сн+Ше+Гп
E_4^4	K,Mg,Ca//CO_3-H_2O	М·3+Са·Mg+К·2
E_5^4		Са·Mg+К·2+Сс
E_6^4	K,Mg//SO_4,CO_3-H_2O	Ше+М·3+К·2
E_7^4		Ар+Ше+К·2
E_8^4		Ше+М·3+М·12
E_9^4	Ca,Mg//SO_4,CO_3-H_2O	М·12+М·3+Са·Mg
E_{10}^4		Са·Mg+М·12+ Гп
E_{11}^4		Гп +Са·Mg + Сс
E_{12}^4	K,Ca//SO_4,CO_3-H_2O	Сс +Сн +Гп
E_{13}^4		Сн+Ар+К·2
E_{14}^4		Сн+Сс+К·2

Дар асоси маълумоти ҷадвали 2 ва бо истифода аз усули транслятсия мувозинатҳои фазагии системаи K,Mg,Ca//SO_4,CO_3 -H_2O дар ҳарорати 0°С таҳқиқ карда шуданд. Натиҷаҳои таҳқиқот барои омӯзиш ва сохтани диаграммаи мувозинатҳои фазагии системаи мазкур дар ҳарорати 0°С замина фароҳам оварданд.



а)

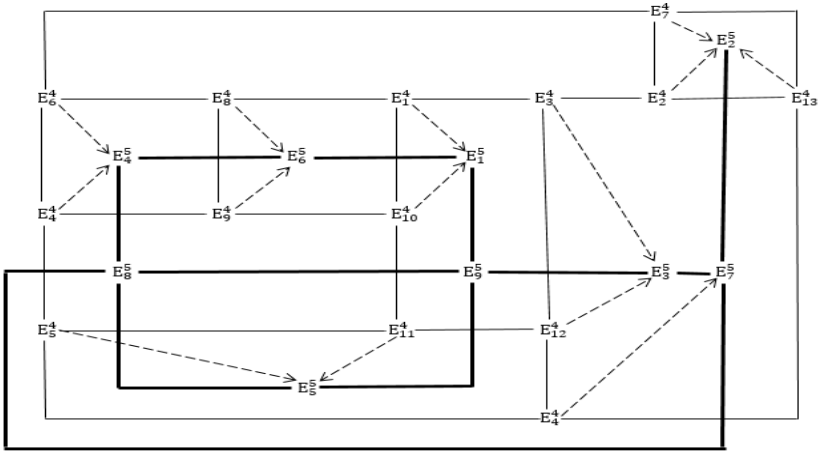


Расми 1. – Диаграмаи мувозинатҳои фазагии системаи K,Mg,Ca//SO_4,CO_3-H_2O барои ҳарорати 0 °C, дар сатҳи чоркомпонентагӣ а) ба шакли призмаи кушода б) ба шакли схемавӣ

Таҳлили маълумоти дар расми 1 овардашуда нишон медиҳад, ки барои системаи K, Mg, Ca // SO_4, CO_3–H_2O дар ҳарорати 0 °C дар сатҳи системаи чоркомпонента ташаккули нуҳ майдонҳои дивариантӣ, ки ба кристаллизатсияи фазаҳои сахти 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 нонвариантии муайянгардида бори аввал диаграммаи схемавии мувозинатҳои фазагии системаи K,Mg,Ca//SO_4,CO_3–H_2O барои ҳарорати 0 °C дар сатҳи панҷкомпонентагӣ сохта шуд. Дар диаграммаи мазкур сохтори умумии система, ҷойгиршавии майдонҳои кристаллизатсияи фазаҳои сахт ва робитаи мутақобилаи байни ҳолатҳои мувозинатҳои фазагӣ инъикос гардидааст (расми 2).



Расми 2. – Диаграммаи мувозинатҳои фазагии системаи K,Mg,Ca//SO_4,CO_3-H_2O дар сатҳи панҷкомпонентагӣ, барои ҳарорати 0 °C

Хатҳои борики яклухт, ки байни нуқтаҳои нонвариантии сатҳи чоркомпонента мегузаранд, дар мувозинат будани ду фазаи сахтро бо маҳлули сери худро ифода мекунанд. Хатҳои пунктири бошанд, самти транслятсияи нуқтаи нонвариантии чоркомпонентаро ба сатҳи панҷкомпонента ифода мекунанд. Хатҳои ғафси яклухти расми мазкур байни нуқтаҳои нонвариантии сатҳи панҷкомпонента гузашта онҳоро бо ҳам мепайвандад, ки дар мувозинат будани чунин

E_1^5 —— E_6^5 = Ше+ М·12+Са·Mg; E_4^5 —— E_8^5 = Ше+ Са·Mg+К·2;

E_1^5 —— E_9^5 = Ше+Гп+Са·Mg; E_5^5 —— E_8^5 = Са·Mg+ К·2+Сс;

E_2^5 —— E_7^5 = Ше+Сн+К·2; E_5^5 —— E_9^5 = Гп +Са·Mg+Сс;

E_3^5 —— E_7^5 = Ше+Сн+Сс; E_7^5 —— E_8^5 = Ше+К·2+Сс;

E_3^5 —— E_9^5 = Ше+Гп+Сс; E_8^5 —— E_9^5 = Ше +Са·Mg+ Сс;

E_4^5 —— E_6^5 = Ше+Са·Mg+М·3;

фазаҳои сахт бо маҳлули сери худро ифода мекунанд:

Натиҷаҳои таҳқиқот нишон доданд, ки истифодаи усули транслятсия барои сохтани диаграммаи мувозинатҳои фазагии системаи K,Mg,Ca//SO_4,CO_3–H_2O дар ҳарорати 0 °C самаранок мебошад. Дар ин диаграмма 22 майдони дивариантӣ, 25 хатти моновариантӣ ва 9 нуқтаи нонвариантӣ муайян карда шуд. Натиҷаҳои бадастомада метавонанд ҳамчун асоси илмӣ барои таҳқиқоти минбаъдаи ҳалшавандагӣ ва асоснок намудани роҳҳои технологии коркарди ашёи хоми полиминералии дорои сулфатҳову

карбонатҳои калий, магний ва калсий хизмат намоянд.

Таҳқиқи таҷрибавии ҳалшавандагии системаи K,Mg,Ca//SO_4-H_2O дар 0 °C

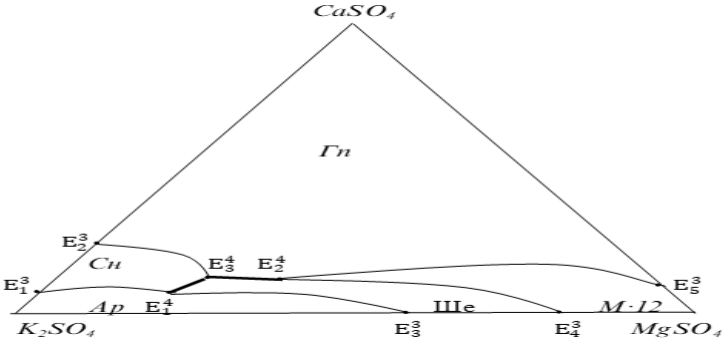
“То имрӯз системаи чоркомпонентаи мазкур дар ҳарорати 0°C ба таври ҳамаҷониба омӯхта нашудааст. Аз ин рӯ, аз ҷониби мо омӯзиши он бо истифода аз усули транслятсия анҷом дода шуд, ки дар натиҷа бори аввал диаграммаи схемавии мувозинатҳои фазавии ин система таҳия гардид. Бо дарназардошти аҳамияти амалӣ ва хусусиятҳои хоси мувозинатҳои фазавии ин система, омӯзиши он инчунин бо роҳи таҷрибавӣ низ анҷом дода шуд» [11, с. 418-424]. Дар зербоби мазкур натиҷаҳои тадқиқоти ҳалшавандагии нуқтаҳои нонвариантии системаи K,Mg,Ca//SO_4-H_2O дар ҳарорати 0°C баррасӣ ва таҳлил карда мешаванд.

Таркиби элементарии системаҳои чоркомпонента, ки сулфатҳои калий, магний ва калсийро дар ҳарорати 0°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 тозаи зерин истифода бурда шуд: $CaSO_4 \cdot 2H_2O$; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$; K_2SO_4. Маълумоти таҷрибавие, ки дар ҷараёни тадқиқот ба даст оварда шудаанд, нишон медиҳад, ки таркиби маҳлули мувозинатӣ вобаста ба маҷмӯи фазаҳои сахти кристаллизатсияшаванда ба таври назаррас тағйир меёбад. Барои намакҳои алоҳида дар 0°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 нуқтаҳои нонвариантии сатҳи чоркомпонентагӣ таркиби маҳлулҳо мураккабтар мегардад. Муайян карда шуд, ки нуқтаи E_1^4, ки фазаҳои сахти 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 сахти мувозинаташ Ше+М·12+Гп аст нишондиҳандаҳо мутаносибан ба 2,70; 0,147; ва 1,85 % - ро ташкил медиҳад. Барои
E_3^4 фазаҳои сахти 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°C

сохта шуд. Қисми қисми намакии диаграмма дар расми 3 оварда шудааст.



Расми 3. – Қисми намакии диаграммаи ҳалшавандагии системаи K,Mg,Ca//SO4-H2O барои ҳарорати 0 °C

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

Таҳқиқи таҷрибавии ҳалшавандагии системаи K,Mg,Ca//CO3-H2O барои ҳарорати 0 °C

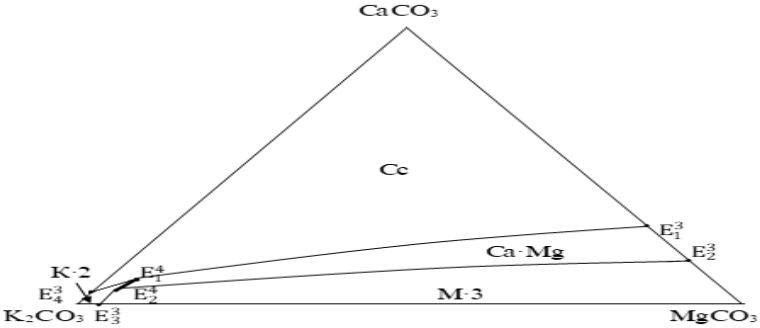
Бо мақсади муайян намудани қонуниятҳои мувозинати фазагӣ системаи чоркомпонентаи K, Mg, Ca // CO_3 – H_2O дар ҳарорати 0°C ба таври таҷрибавӣ омӯхта шуд.

Фазаҳои сахти мувозинати дар системаи омӯхташаванда барои ҳарорати 0°C инҳоянд: $CaCO_3$ - калсит (Сс); $K_2CO_3 \cdot 2$-(К·2); $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ -доломит (Са·Mg); $MgCO_3 \cdot 3H_2O$-магнезит (Mg·3). Натиҷаи таҷриба дар ҷадвали 3 оварда шудааст.

Ҷадвали 3. – Таркиби маҳлулҳои сершуда ва фазаҳои сахти мувозинатии системаи K, Mg, Ca // CO_3 – H_2O дар ҳарорати 0 °C

Нуқтаҳои нонвариантӣ	Таркиби фазаи моеъ. бо %				Фазаҳои сахти мувозинатиӣ
	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

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//SO_4,CO_3-H_2O барои ҳарорати 25 °C бо усули транслятсия

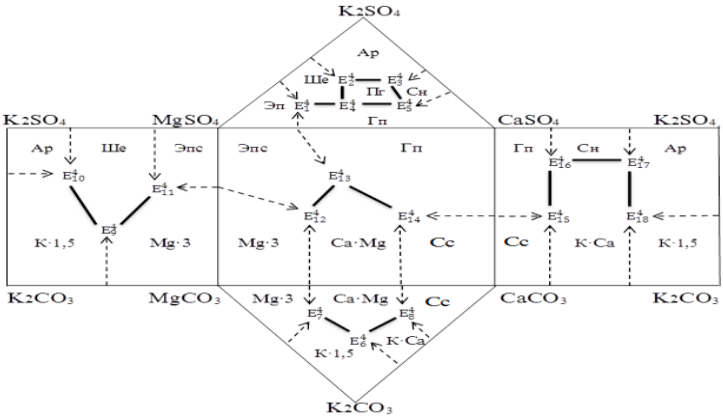
Таҳқиқоти гузаронидашуда бо истифода аз усули транслятсия нишон медиҳанд, ки дар сатҳи чоркомпонентагӣ системаи обию намакӣ нуқтаҳои нави нонвариантӣ пайдо мешаванд. Ҳамин тавр, чор нуқтаи нави нонвариантӣ E^4_{15} то E^4_{18} муайян гардиданд, ки дар мувозинат будани фазаҳои сахти зеринро тавсиф мекунанд: Гп+Сс+К·Са; Сн+Гп+К·Са; Сн+Ар+К·Са и К·Са+Ар+К·1,5.

Натиҷаҳои бадастомада оид ба нуқтаҳои 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 нуқтаҳои нонвариантии системаи K,Mg,Ca // SO_4,CO_3–H_2O дар ҳарорати 25 °C, ки бо усули транслятсия муайян карда шудааст

Нуқтаҳои нонвариантӣ	Система	Фазаҳои сахти дар мувозинат буда
E^4_1	K,Mg,Ca//SO_4-H_2O	Эпс+Ше+Гп
E^4_2		Ар+Ше+Пг
E^4_3		Ар+Пг+Сн
E^4_4		Ше+Пг+Гп
E^4_5		Пг+Сн+Гп
E^4_6	K,Mg,Ca//CO_3-H_2O	Са·Mg+K·1,5+K·Ca
E^4_7		Mg·3+ Ca·Mg+K·1,5
E^4_8		Ca·Mg+ K·Ca+Cc

		Идомаи ҷадвали 4.
E_9^4	K,Mg//SO_4,CO_3-H_2O	Ше+ К·1,5+Mg·3
E_{10}^4		Ар+Ше+ К·1,5
E_{11}^4		Ше+Эпс+ Mg·3
E_{12}^4	Ca,Mg//SO_4, CO_3-H_2O	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_2O	Гп+Cc+К·Ca
E_{16}^4		Гп+ К·Ca+Сн
E_{17}^4		Сн+Ар+К·Ca
E_{18}^4		Ар+ К·1,5+К·Ca



Расми 5. – Сохтори геометрии изотермаи 25°C – и системаи K,Mg,Ca//SO_4,CO_3-H_2O дар сатҳи чоркомпонентагӣ

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

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

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

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

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

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

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

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

$$E_{11}^{4} + E_{12}^{4} \text{----------} \rightarrow E_{8}^{5} = Ше + Эпс + Mg \cdot 3 + Ca \cdot Mg;$$

$$E_{4}^{4} + Ca \cdot Mg \text{ ------} \rightarrow E_{9}^{5} = Ше + Пг + Гп + Ca \cdot Mg;$$

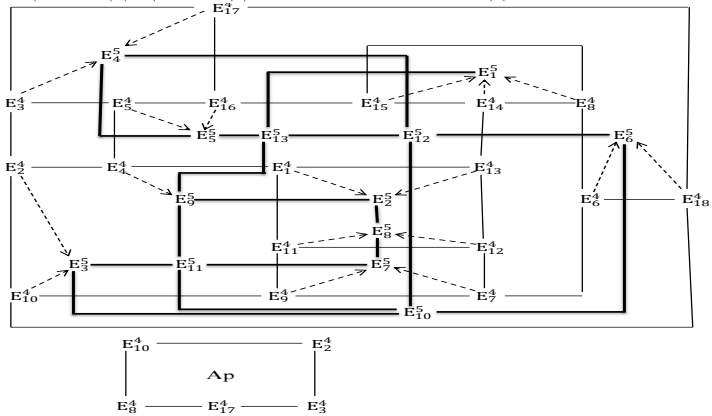
$$E_{10}^{5} = Пг + К \cdot 1{,}5 + Ca \cdot Mg + Ар;$$

$$E_{11}^{5} = Пг + К \cdot 1{,}5 + Ca \cdot Mg + Ше;$$

$$E_{12}^{5} = Пг + К \cdot Ca + Ca \cdot Mg + Ар;$$

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

“Дар асоси натиҷаҳои ба дастомада диаграммаи мувозинати фазавии системаи K, Mg, Ca // SO_4, CO_3 – H_2O дар ҳарорати 25°C, дар сатҳи панҷкомпонентагӣ сохта шуд (расми 6)” [16, с. 223 - 225]. Диаграммаҳои таҳияшуда қонуниятҳои асосии мувозинатҳои фазавӣ, ҷойгиршавии мутақобилаи онҳо ва хусусиятҳои фазаҳосилшавиро дар системаҳои таҳқиқшаванда инъикос менамоянд.



Расми 6. – Диаграммаи схемавии мувозинатҳои фазагии изотермаи 25°C- и системаи K,Mg,Ca//SO_4,CO_3-H_2O дар сатҳи панҷкомпонентагӣ

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

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

Системаи K,Mg,Ca//SO_4-H_2O

“Системаҳои секомпонентаи K_2SO_4 – $MgSO_4$ – H_2O, K_2SO_4 –

$CaSO_4$ – H_2O ва $MgSO_4$ – $CaSO_4$ – H_2O ба таркиби системаи обию намакии таҳқиқшавандаи K,Mg,Ca//SO_4-H_2O дохил мешаванд" [12, с. 112].

Дар зерсистемаҳои секомпонентаи ташкилкунандаи системаи чоркомпонентаи обӣ-намакӣ нуқтаҳои нонвариантӣ мавҷуданд, ки дар мувозинат будани фазаҳои сахти зерин мувофиқат мекунанд: Ше + Эпс; Ар + Ше; Ар + Сн; Сн + Гп ва Эпс + Гп. Ҳангоми баланд шудани ҳарорат аз 0 °С то 25 °С, дар натиҷаи боҳамтаъсиркунии компонентҳои система боиси пайдошавии фазаи сахти – 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 сахти нави полигалит дар ҳамин ҳарорат бо ҳамаи майдонҳо ҳамсарҳад мебошад. Ин ҳолат аз ҳалшавандагии пасти полигалит шаҳодат медиҳад, зеро майдони кристаллизатсияи он қисми зиёди диаграммаи мазкурро ишғол менамояд.

Сабаби пайдоиши нуқтаҳои нонвариантӣ дар сатҳи чоркомпонентагӣ раванди транслятсияи нуқтаҳои нонвариантӣ аз сатҳи секомпонентагӣ ба сатҳи чоркомпонентагӣ мебошад. Барои ҳар яке аз онҳо чунин фазаҳои сахти 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°С аз се зерсистемаи обӣ – намакӣ иборат аст: $CaCO_3$–$MgCO_3$–H_2O, ки дорои 2 нуқтаи нонвариантӣ аст, K_2CO_3–$CaCO_3$–H_2O, ки да он низ 2 нуқтаи нонвариантӣ мавҷуд аст ва K_2CO_3–$MgCO_3$–H_2O, ки дорои 1 нуқтаи нонвариантӣ мебошад. Дар ҳамаи ин зерсистемаҳо маҷмӯи фазаҳои сахти мувозинатии зерин мавҷуданд: К·1,5 + К·Са; Сс + К·Са; Сс+ Mg·Ca; Mg·Ca+M·3 ва К·1,5 + М·3. Сабаби пайдошавии нуқтаҳои нонвариантӣ дар системаи чоркомпонента раванди транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии қаблан муайяншуда аз сатҳи зерсистемаҳои мувофиқ ба сатҳи чоркомпонента мебошад. Ба нуқтаҳои нонвариантии ҳосилшуда маҷмӯи зерини фазаҳои сахти мувозинатӣ мувофиқат мекунанд: E_6^4 = К·Са+К·1,5+Са·Mg; E_7^4 = Са·Mg+M·3+ К·1,5 ва E_8^4 = Сс+К·Са+Са·Mg.

Системаи K,Mg //SO_4,CO_3-H_2O

Ин системаи чоркомпонента 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 нуқтаи нонвариантӣ бо фазаҳои сахти мувозинатии зерин хос аст: Ар + Ше; Ше + Эпс. Дар зерсистемаҳои секомпонентаи боқимонда, ки мувозинатҳои фазагии онҳо ба таври таҷрибавӣ омӯхта нашудаанд,

нуқтаҳои нонвариантӣ ба таври эфтоникӣ қабулшудаанд ва барои онҳо яктогӣ нуқтаи нонвариантӣ бо чунин фазаҳои сахти мувозинати хос аст: Ар + К·1,5; Эпс + М·3 ва К·1,5 + М·3. Транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии секомпонента ба сатҳи чоркомпонента боиси ҳосилшавии нуқтаҳои нонвариантии чоркомпонентаи зерин бо фазаҳои сахти мувозинатӣ мегардад: E_9^4 = Ше+К·1,5+М·3; E_{10}^4 = Ар+Ше+К·1,5 ва E_{11}^4 = Ше+Эпс+М·3.

Системаи Ca,Mg // SO_4,CO_3–H_2O

Системаи мазкур дар таркиби худ системаҳои секомпонентаи зеринро дар бар мегирад: Ca,Mg // SO_4–H_2O; Ca,Mg // CO_3–H_2O; Ca // SO_4,CO_3–H_2O ва Mg // SO_4,CO_3–H_2O. Барои зерсистемаи Ca,Mg // CO_3–H_2O фазаҳои сахти мувозинатҳои зерин хос мебошанд: Са·Mg + Сс ва М·3 + Са·Mg. Барои се зерсистемаи боқимонда бошад, ба ҳар кадом як нуқтаи нонвариантӣ хос аст, ки бо фазаҳо сахти зерин тавсиф карда мешаванд: Эпс + Гп; Гп + Сс ва Эпс + М·3. Дар натиҷаи татбиқи усули транслятсия, нуқтаҳои нонвариантии зикршудаи системаҳои секомпонента ба сатҳи системаҳои чоркомпонента интиқол ёфта, нуқтаҳои нави нонвариантии зерин ба вуҷуд меоранд: E_{12}^4 = Эпс+ Са·Mg +М·3; E_{13}^4 = Гп+Эпс+ Са·Mg ва E_{14}^4 = Гп+Сс +Са·Mg.

Системаи K,Ca//SO_4,CO_3-H_2O

“Барои муайян намудани мувозинатҳои фазагии системаи K,Ca//SO_4,CO_3-H_2O дар ҳарорати 25°C аз маълумотҳои мувозинатии системаҳои секомпонентаи он K//SO_4,CO_3-H_2O; K,Ca//SO_4-H_2O; Ca//SO_4,CO_3-H_2O; K,Ca//CO_3-H_2O истифода бурда шуд” [15. с.165]. Барои дутои ин зерсистемаҳо ба ҳар кадоме яктогӣ нуқтаи нонвариантӣ хос буда барои дутои дигарашон ду нуқтаи нонвариантӣ хос аст. Фазаҳои сахти дар мувозинатбудаи онхо чунин аст: Ар+К·1,5; Ар+Сн; Сн+Гп; Гп+Сс; К·1,5+К·Са ва Сс+К·Са.

Ҳалшавандагӣ дар системаи K,Mg,Ca//SO_4-H_2O 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 (K_2SO_4); Ше-шенит (K_2SO_4·$MgSO_4$·$6H_2O$); Сн-сингенит (K_2SO_4·$CaSO_4$·H_2O); Гп-гипс ($CaSO_4$·$2H_2O$) ва М·12 ($MgSO_4$·$12H_2O$).

Барои гузаронидани таҷриба аз намакҳои зерин истифода бурда шуд: $CaSO_4$·$2H_2O$ (аз ҷиҳати химиявӣ тоза); $MgSO_4$·$7H_2O$ (аз

чиҳати химияви тоза); K_2SO_4 (тоза).

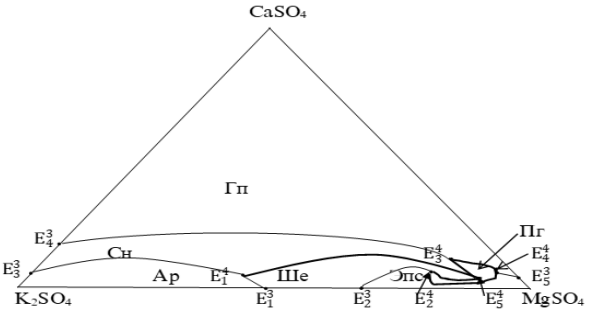
Гузаронидани таҷрибаҳо мувофиқи нақшаи таҳқиқотӣ амалӣ карда шуд. Барои омехтани маҳлулҳо аз омехтакунаки магнитии тамғаи PD-9 истифода намудем. Кристаллизатсияи фазаҳои сахт тавассути микроскопи Микромед С 11 мушоҳида карда шуда, пас аз ба мувозинат омадан, фазаҳои сахт тавассути суратгираки «SAMSUNG 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 қифи Бюхнер, ки ба ҳавокаши вакуумӣ пайваста аст ҷудо намудем. Баъдан фазаи сахтро бо спирти этили 96% шуста, дар ҳарорати 120 °С хушк намудем.

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

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

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

	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

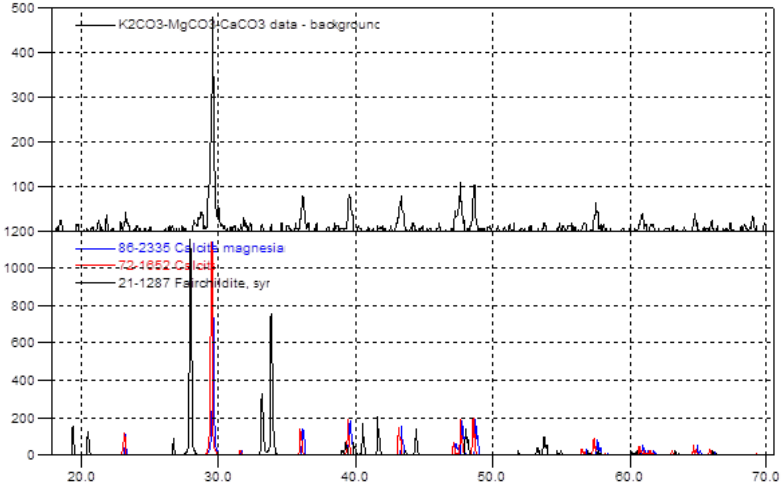
K,Mg,Ca//SO_4-H_2O дар ҳарорати 25°C

Таҳлили расми 7 нишон медиҳад, ки минтақаи 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 пасти гипсро тасдиқ мекунад, ки ҳатто бо баланд шудани ҳарорат то 25 °C қариб тағйир намеёбад.

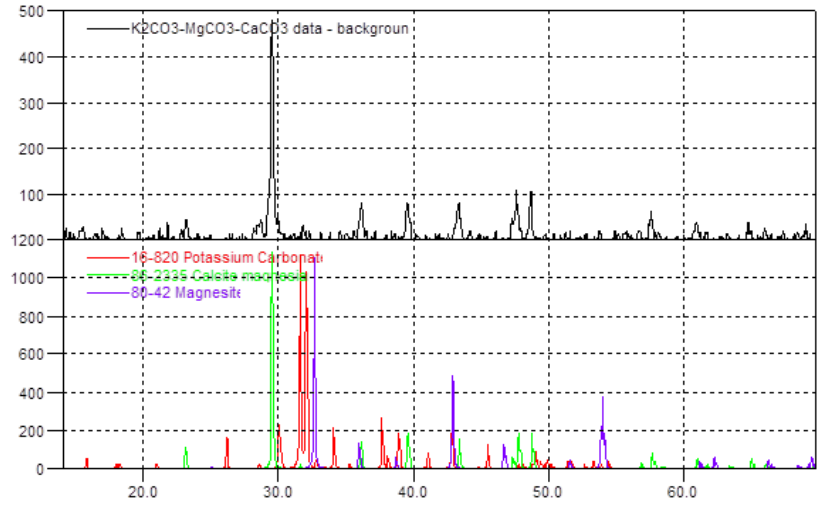
Таҳқиқи ҳалшавандагии системаи K,Mg,Ca//CO_3-H_2O барои ҳарорати 25 °C

Барои ин система дар ҳарорати 25°C фазаҳои сахти мувозинати инҳоянд: $CaCO_3$ - калсит (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). Натиҷаҳои таҳлилҳо нишон медиҳанд, ки таркиби маҳлулҳои сершуда вобаста ба маҷмӯи фазаҳои сахти 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 $K_2CO_3 \cdot$хеле зиёд буда 52,740 % - ро ташкил медиҳад. Барои санҷиши таркиби кристаллии таҳшинҳо таҳлили рентгенофазавӣ гузаронида шуд. Дифратограммаҳои бадастомада (расми 8) барои мушаххас намудани фазаҳои сахти мувозинатӣ истифода гардиданд.

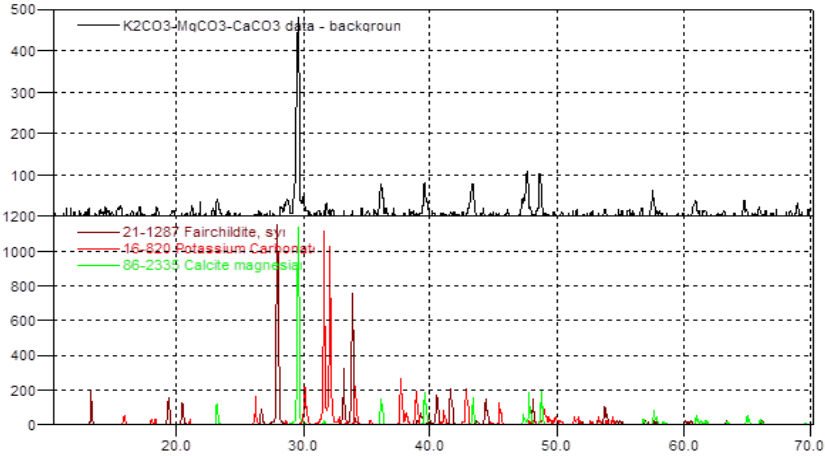
Дар асоси маълумотҳои таҷрибавӣ, бори аввал диаграммаи ҳалшавандагӣ ва диаграммаҳои устувории марҳилаҳои намакӣ барои системаи чоркомпонентии K,Mg,Ca // CO_3–H_2O дар ҳарорати 25 °C сохта шуданд.



Нуқтаи E_1^4 (Cc+ Ca·Mg+ K·Ca)



Нуқтаи E_2^4 (Ca·Mg+ K·1,5+ Mg·3)



Нуқтаи E_3^4 (Ca·Mg+ K·1,5+ K·Ca)

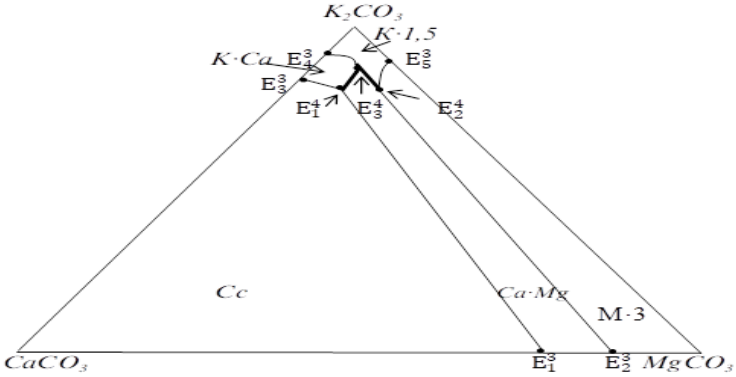
Расми 8. – Дифратограммаи фазаҳои сахти мувозинатии системаи K,Mg,Ca // CO_3–H_2O дар ҳарорати 25 °C

Ин диаграмма бо истифода аз координатаҳо дар шакли серкунҷаи баробарпаҳлӯ 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.

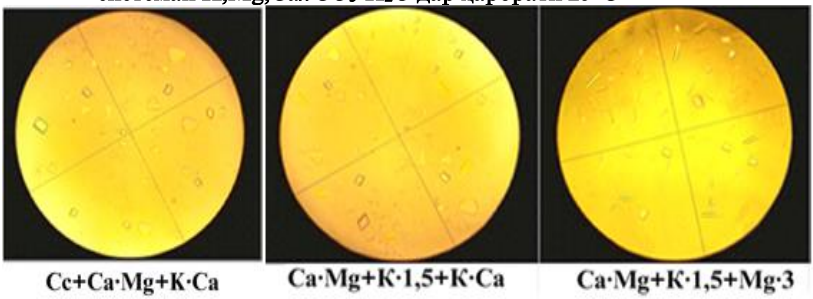
Метавон гуфт, ки дар диаграммаҳои ҳалшавандагии ин система ҳаҷм ва майдони кристаллизатсияи калсит ҳатто бо баланд шудани

ҳарорат тағйир намеёбад. Ин аз камҳалшаванда будани он шаҳодат медиҳад.

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



Расми 9. – Сохтори қисми намакии диаграммаи ҳалшавандагии системаи K,Mg,Ca//CO_3-H_2O дар ҳарорати 25°C



Расми 10. – Аксҳои кристаллҳои фазаҳои сахти мувозинатии системаи K, Mg,Ca//CO_3-H_2O, дар ҳарорати 25 °C

ХУЛОСАҲОИ УМУМӢ

1. Бо усули транслятсия қонуниятҳои мувозинатҳои фазагии системаи K,Mg,Ca//SO_4,CO_3–H_2O 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 нонвариантӣ аз 9 то 13; хатҳои моновариантӣ аз 25 то 35 ва майдонҳои дивариантӣ 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 такя 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 хоси 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 интихоби шароити мусоиди технологии коркарди ашёи хоми полиминералии табиӣ ва техногенӣ, аз ҷумла партовҳои саноатии дорои сулфатҳо ва карбонатҳои калий, магний ва калсий, ҳамчун заминаи илмӣ хизмат намоянд.

Ба таркиби системаи таҳқиқшаванда фазаҳои сахти 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 пайвастагиҳо дар амалия истифодаи васеъ доранд: шенит ва полигалит – дар соҳаи кишоварзӣ ҳамчун нурии калийгию 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 ҳосилнокӣ истифода мешаванд; гипс ва калсит бошанд дар саноати сохтмон барои истеҳсоли 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 дарачаҳои гуногуни гидротатсия) – дар саноати химия, истеҳсоли шиша ва инчунин ҳангоми 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 РӮЙИ МАВЗУИ ДИССЕРТАТСИЯ

Мақолаҳои дар маҷаллаҳои илмии 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 0^0C/. Л. Солиев, М.Б. Усмонов, **С.Умаралӣ,** Б. Ҷабборзода // Паёми 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 25^0C / **С.Умаралӣ,** 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 25^0C/ **С.Умаралӣ** // Паёми 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 0^0C / **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 диаргаммаи системаи K_2CO_3-$MgCO_3$-$CaCO_3$-H_2O дар ҳароратҳои 0 ва 25^oC / С.Умаралӣ, 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 калсий барои ҳарорати 25°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, калсий барои

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

[10-М]. **Умаралии, С.** Исследование фазовых равновесий в системе K,Al//SO_4,F–H_2O при 25°С с использованием мметода трансляции / П. А. Мухторов, **С.Умаралӣ,** М.Б. Усмонов // Известия НАНТ. -2025. -№1 (198). –С.178-186.

Фишурдаи маърӯзаҳо дар конференсияҳои байналхалқӣ ва ҷумҳуриявӣ

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

[12-М]. **Умаралии, С.** Страение фазового комплекса системы K_2SO_4-$MgSO_4$-$CaSO_4$-H_2O при 0 и 25^oC / 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 ^oC / Л. Солиев, **С.Умаралии,** Б. Ҷаборзода // Международный научниый 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^o С / Л. Солиев, **С.Умаралии,** Г. Сино // Международный научниый 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^{0}С / Л. Солиев, **С.Умаралӣ** // 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^{0}С / 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^{0}C / Л. Солиев, **С.Умаралӣ,** Б. Ҷаборзода // 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^{0}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^{0}C / **С.Умаралӣ,** М.Б.Усмонов
Маводи конференсияи илмӣ- методии байналмилалӣ дар мавзӯи «Нақши илмҳои таббии 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 саҳаи илмӯ 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^{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^{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 25^0C / **С.Умаралӣ,** М.Б.Усмонов // Материалы международной научно-практической конференции по теме «Актуалные проблемы химической науки промышленности». – Фаргона. -2023. -С.24-28.

[23-М]. **Умаралии, С.** Фазовые равновесия системы сульфатов и карбонатов калия, магния, кальция при 0 ^{o}C **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 сулфатов и карбонатов калия, кальция при 0 и 25^0C / **С.Умаралӣ,** М.Б.Усмонов // Международная конференция «Химическая и образование, проблемы и перспективы развития» Дегистанский государственний педагогический унверситет им. Р. Гамзатова. –Махачкала. -2024. -С.90-93.

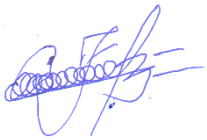
[25-М]. **Умаралии, С.** Диаграммаи ҳалшавандагии системаи обӣ- намакии сулфатҳои калий, магний, калсий барои ҳарорати 0°C / **С.Умаралӣ,** М.Б.Усмонов, П. А. Мухторов // Маҷмуи маводҳо Хонишҳои XIX Нӯъмоновӣ «Рушди кимиё бунёди ва амалӣ ва саҳми он дар саноатикунонии кишвар». –Душанбе. -2024. –С.156-160.

[26-М]. **Умаралии, С.** Диаграммаи ҳолатии системаи K,Mg,Ca//SO_4-H_2O барои ҳарорати 25^0C аз рӯи далелҳои ҳалшавандагӣ / **С.Умаралӣ,** М.Б.Усмонов // «Вазъи кунунӣ ва дурнамои таҳлили физико–химиявӣ», бахшида ба элон гардидани ҳадафи чоруми стратегӣ–саноатиунонии 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 специалности 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 10^{00} часов на заседании диссертационного совета 6D.KOA–136 при Таджикском национальном университете.

Адрес: 734025, г.Душанбе, проспект Рудаки, 17. Таджикский национальний университет, главний 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. Развитие теории и методов исследования химических систем, включая многокомпонентные, получило дальнейшее развитие в трудах таких учёных, как В.Я. Аносов [2], Я.Г. Горощенко [3], Ф.М. Перельман [7], В.А. Жариков [8], В.И. Посыпайко [5], А.С. Трунин [6], Л. Солиев [4], М.Т. Жумаев [10], И.М. Низомов [9] и других исследователей. 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.

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 ^{o}C.

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

- изучение закономерности фазовые равновесия в пятикомпонентных водно-солевых систем, обхатывающей сульфатов и карбонатов калия, магния и кальция при температуре 0 и 25^{o}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^{o}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, устанавливать их сопредельный свойств и предложить отдельные части диаграммы исследуемых фазовых систем;

- с помощью экспримента 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 изуение 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 фазамы;

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

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

- исходя из практических исследованией 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.

Положения, выносимые 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°С;

- применения результатов метода трансляции для определение фазовых взаимоотношений и создать диаграммы четырёхкомпонентных 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; K, Ca // SO_4, CO_3–H_2O при температуре исследований;

- четырёхкомпонентные системы K, Mg, Ca // SO_4 – H_2O и K, Mg, Ca // CO_3 – H_2O были экспериментально исследованы при температурах 0 и 25°С, определены состав равновесных твёрдых фаз и положение нонвариантных точек и на основании полученных результатов построены диаграммы растворимости обеих систем при указанных температурах.

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

-полученные методом трансляции данные о фазовых равновесиях в системе K,Mg,Ca//SO_4,CO_3–H_2O могут быть использованы в качестве научно-справочного материала для дальнейшего исследования и анализа многокомпонентных водно-солевых систем.

-определённые закономерности фазовых равновесий и фазаобразования 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 статьей 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, фазообразний и фазовых равновесий в многокомпонкнтных водно-солевых систем K,Mg,Ca//SO_4,CO_3 – H_2O, а также состав её подсистем при температуре 0 и 25°C. Анализ опубликованний 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 повышениях 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 четырёхкомпонентным, а из четырёхкомпонентных 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 четырёхкомпонентных 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 четырёхкомпонентных составной части, при 25 °С, 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 исследование, утверждены с помощью рентгенофазовых анализом.

Основные выводы и список использованых 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 прогнозирование изменений состав и положений фазовых систем в зависимости действии в нежных факторов (температур, давления, концентрации). Он имеет перспектива для создание благоприятние условий при технологические процессов.

«Для трёх- и четырёхкомпонентных систем применяют геометрические модели, но с ростом числа компонентов (пять и более) визуализация усложняется из-за увеличения нонвариантных 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 (K, 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 K,Mg,Ca//CO_3 – H_2O; K,Mg,Ca//SO_4 – H_2O; K,Ca//SO_4,CO_3 – H_2O; Ca,Mg//SO_4,CO_3 – H_2O; K,Mg//SO_4,CO_3 – H_2O определено свойств фазовых положений и взаимодействие равновесий их компонентов.

Согласно анализу литературных источников, пятикомпонентная

система $K,Mg//SO_4,CO_3-H_2O$, 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 °С: $K,Mg//SO_4-H_2O$, $K//SO_4,CO_3-H_2O$, $K,Mg//SO_4-H_2O$, $Ca,K//SO_4-H_2O$. Три системы были изучены только при температуре 25°С $Mg//SO_4,CO_3-H_2O$, $Mg,Ca//SO_4-H_2O$ и $Ca//SO_4,CO_3-H_2O$. Однако такие трёхкомпонентные системы, как $K,Mg//CO_3-H_2O$ и $Ca,K//CO_3-H_2O$, остаются совершенно не исследованными. Из – за отсутствие информации о взаимодействие процесс между всех систем, для остальных состояние данных систем принято эвтоническое положение.

На основании анализов опубликованных научных информации, степень изучения пятикомпонентных систем $K,Mg,Ca//SO_4$, $CO_3 – H_2O$ а также её состав трех- и четырёхкомпонентных систем при температуре 0 и 25°С 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. – Сосотояние исследования трёх-, четырёх- и пятикомпонентных систем $K,Mg,Ca//SO_4,CO_3-H_2O$ при температурах 0 и 25°С

Системы	Компонентность	Изотерма,^{0}С	
		0	25
$K,Mg,Ca//SO_4,CO_3-H_2O$	5	-	-
$K,Mg//SO_4,CO_3-H_2O$	4	-	-
$Mg,Ca//SO_4,CO_3-H_2O$	4	-	-
$K,Ca//SO_4,CO_3-H_2O$	4	-	-
$K,Mg,Ca//SO_4-H_2O$	4	-	+
$K,Mg,Ca//CO_3-H_2O$	4	-	-
$K,Mg//SO_4-H_2O$	3	+	+
$K//SO_4,CO_3-H_2O$	3	+	+
$Mg//SO_4,CO_3-H_2O$	3	-	+
$K,Mg//CO_3-H_2O$	3	-	-
$Mg,Ca//SO_4-H_2O$	3	-	+

Продолжение таблицы 4.			
$Mg,Ca//CO_3\text{-}H_2O$	3	+	+
$Ca//SO_4,CO_3\text{-}H_2O$	3	+	+
$Ca,K//SO_4\text{-}H_2O$	3	+	+
$Ca,K//CO_3\text{-}H_2O$	3	-	-

Фазообразования и растворимости в геометрических символах многокомпонентных систем K,Mg,Ca//SO_4,CO_3–H_2O для температуры 0 °C по методом трансляции

Система K,Mg,Ca//SO_4-H_2O

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°C, для данной систем, свойственно развитие одного или двух нонвариантных 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 E_1^4, E_2^4, E_3^4 систем

Система K,Mg,Ca//CO_3-H_2O

«Данная четырёхкомпонентная система состоит из следующих подсистем, как Mg,Ca//CO_3-H_2O, K,Ca//CO_3-H_2O, K,Mg//CO_3-H_2O. Каждый из них характеризуется содержанием своим нонвариантных точек определяющий условие появление твердых фаз равновесий» [13, 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 нонвариантных точек E_4^4 и E_5^4.

Система K,Mg //SO_4,CO_3-H_2O

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 нонвариантных точек и к остальным трех систем относится по одной нонвариантных точек. В результате их трансляции, три нонвариантных точек по поверхностей четырёхкомпонентной систем, характерно в общих следующих твёрдых фаз равновесиях E_6^4 =Ше+К·2+М·3; E_7^4= Ар+Ше+К·2 и E_8^4= Ше+ М·12+М·3.

Система Ca,Mg//SO_4,CO_3-H_2O

Четырёхкомпонентная система включает в себя следующие трёхкомпонентные подсистемы: Ca,Mg//SO_4–H_2O, Ca,Mg//CO_3–H_2O, Ca//SO_4,CO_3–H_2O и Mg//SO_4,CO_3–H_2O. «Для подсистемы Ca//SO_4,CO_3–H_2O характерно наличие двух нонвариантных точек, тогда как для остальных подсистем установлено наличие лишь одной нонвариантной точки. В процессе трансляции указанных трёхкомпонентных нонвариантных точек на уровень четырёхкомпонентной системы образуются новые нонвариантные точки, каждая из которых отвечает равновесию конкретного набора твёрдых фаз» [14, с. 230]: E_9^4= М·12+ Mg·Ca +М·3; E_{10}^4=Гп+ М·12+ Mg·Ca и E_{11}^4=Гп+Сс+ Mg·Ca. Таким образом, для данной системы выявлены три нонвариантные точки, отражающие устойчивые сочетания равновесных твёрдых фаз.

Система К,Ca//SO_4,CO_3-H_2O

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

После объединения кристаллизации полей твердых фаз одинаковых четырёхкомпонентных систем составляющей пятикомпонентных систем, нонвариантных 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 поверхностей пяти компонентов.

Таблица 2. – Фазовые равновесия в нонвариантных точек четырёхкомпонентной поверхности для температуры 0°С

Нонвариантные точки	Система	Равновесные твёрдые фазы
E_1^4	K,Mg,Ca//SO_4-H_2O	М·12+Гп+Ше
E_2^4		Ар+Ше+Сн
E_3^4		Сн+Ше+Гп
E_4^4	K,Mg,Ca//CO_3-H_2O	М·3+Ca·Mg+К·2
E_5^4		Ca·Mg+К·2+Сс
E_6^4	K,Mg//SO_4,CO_3-H_2O	Ше+М·3+К·2
E_7^4		Ар+Ше+К·2
E_8^4		Ше+М·3+М·12
E_9^4	Ca,Mg//SO_4,CO_3-H_2O	М·12 + М·3+ Ca·Mg
E_{10}^4		Ca·Mg +М·12+ Гп
E_{11}^4		Гп +Ca·Mg + Сс
E_{12}^4	K,Ca//SO_4,CO_3-H_2O	Сс +Сн +Гп
E_{13}^4		Сн+Ар+К·2
E_{14}^4		Сн+Сс+К·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 °С. Итоги исследование стала рычагом возможностей объект исследований диаграммы фазовых равновесий систем при температуре 0°С.

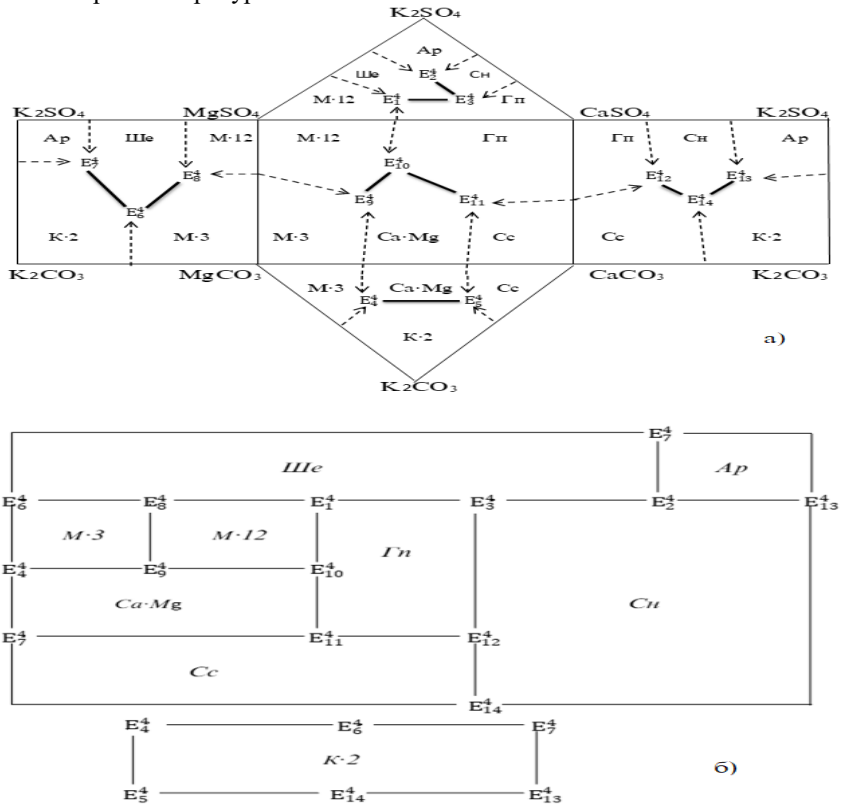


Рисунок 1. – Диаграмма равновесий фаз системы K,Mg,Ca//SO_4,CO_3-H_2O при 0 °С:
а) представленная в форме развёрнутой призмы; б) в виде схемы

Анализ данных, приведённых на рис. 1, показывает, что для системы K, Mg, Ca // SO_4, CO_3–H_2O при температуре 0 °С 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 нонвариантных 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 основной для размещения структурных элементов исследуемой системы на уровне пятикомпонентого состава.

При применением определённых нонвариантных точек, впервые строены схематические диаграммы фазовых равновесий систем K,Mg,Ca//SO_4,CO_3-H_2O для температуре 0°C по поверхностей пятикомпонента. В этот диаграмме показано общее строение систем, расположение кристаллизации и связь между положением равновесий (рисунки 2).

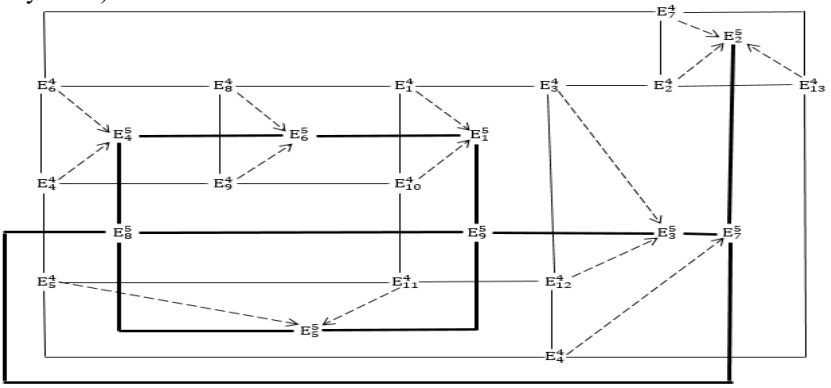


Рисунок 2. – Диаграмма фазовых равновесий системы K,Mg,Ca // SO_4,CO_3–H_2O на пятикомпонентном уровне, при температуре 0 °C.

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

E_1^5 —— E_6^5 = Ше + Са·Mg+M·12;
E_1^5 —— E_9^5 = Ше + Гп+Са·Mg;
E_2^5 —— E_7^5 = Сн + Ше+К·12;
E_3^5 —— E_7^5 = Ше + Сс+Сн;
E_3^5 —— E_9^5 = Ше + Гп+Сс;
E_4^5 —— E_6^5 = Ше + Са·Mg+M·3;
E_4^5 —— E_8^5 = Ше + Са·Mg+К·2;
E_5^5 —— E_8^5 = Са·Mg+К·2+Сс;
E_5^5 —— E_9^5 = Гп + Са·Mg+Сс;
E_7^5 —— E_8^5 = Ше + К·2 + Сс;
E_8^5 —— E_9^5 = Ше + Са·Mg+Сс;

Завершенные итоги показала, что применение метода трансляции для построения диаграммы фазовые равновесии систем K,Mg,Ca//SO_4,CO_3-

H_2O при 0°С, является успешными. В этой диаграмме определено 22 дивариантных полей, 25 моновариантных линии и 9 нонвариантных 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 °С

«Данная четырёхкомпонентная система при температуре 0°С 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» [11, с. 418-424]. В данном подразделе рассматриваются и анализируются результаты исследования растворимости нонвариантных точек системы K, Mg, Ca // SO_4 – H_2O при температуре 0°С.

Элементарный состав четырёхкомпонентных систем, включающих сульфаты калия, магния и кальция при 0°С, 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°С, 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 нонвариантных точек поверхностей четырёхкомпонентных систем состав растворов становится сложнее. Выяснено, что E_1^4 которое обхатывает в себя поверхностей равновесии 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 массу. Для E_3^4 сходни 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 массу.

По результатам экспериментальных исследований составлена диаграмма растворимости системы K, Mg, Ca // SO_4 – H_2O при

температуре 0°С. Солвая часть диаграммы приведена на рисунке 3.

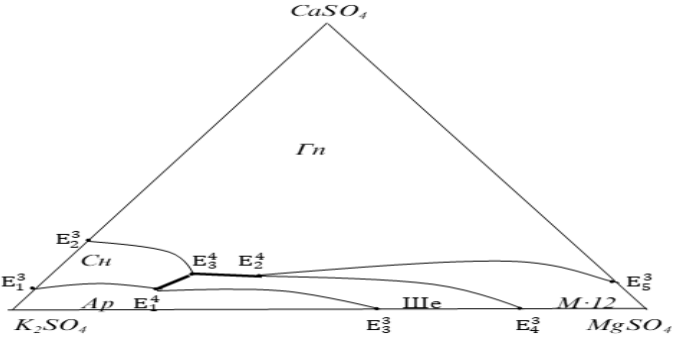


Рисунок 3. – Солевая часть диаграммы растворимости системы K,Mg,Ca // SO_4–H_2O при 0 °С

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

Практические исследование растворимости K,Mg,Ca//CO_3–H_2O при температуре 0°С

С целью освоение закономерности фазовые равновесий четырёхкомпонентных систем K,Mg,Ca//CO_3-H_2O при температуре 0 °С, изучено а экспериментально.

Равновесные твёрдые фазы, характерные для данной системы при 0 °С, следующие: Сс-кальцит ($CaCO_3$); K·2 -$K_2CO_3 \cdot 2H_2O$; Ca·Mg-доломит ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$); Mg·3-магнезит ($MgCO_3 \cdot 3H_2O$). Результаты экспериментов приведены в таблице 3.

Таблица 3. – Состав насыщенных растворов и твердых фаз равновесии систем K,Mg,Ca//CO_3-H_2O при температуре 0 °С

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

На основе фактов таблиц освоены положение нонвариантных точек

поверхностей трех, -четырёх компонента и построены диаграммы растворимости этой систем (рисунки 4).

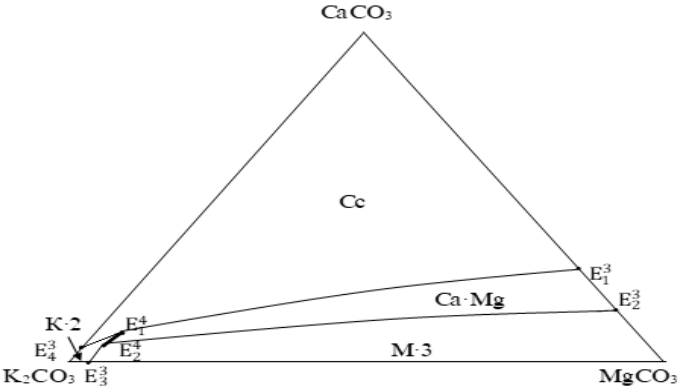


Рисунок 4. –Диаграммы растворимости системы карбонатов калия, магния, кальция с водой при темпратуре 0 ºС

Фазообразование и растворимости в геометрических символах многокомпонентных систем K,Mg,Ca//SO_4-H_2O для температур 25 °С по методом трансляции

Проведенных эксперимент методом трансляцию показывает, что где нонвариантных точек появляется на поверхности четырёхкомпонентного водно-солевых состав систем, еще четырех нонвариантные точки E^4_{15} до E^4_{18} с твердыми фазовыми равновесии следующих систем: Гп+Сс+К·Са; Сн+Гп+К·Са; Сн+Ар+К·Са и К·Са+Ар+К·1,5.

Результаты нонвариантные точки поверхности состава четырёхкомпонентных систем, составляющих пятикомпонентных систем, как карбонатов, сульфатов калия, магния и кальцию методом трансляции при 25°С, 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 нонвариантных точек системы K,Mg,Ca//CO_3-H_2O при 25 °С, определённых методом трансляции

Нонвариантная точка	Система	Равновесные твёрдые фазы
E^4_1	K,Mg,Ca//SO_4-H_2O	Эпс+Ше+Гп
E^4_2		Ар+Ше+Пг
E^4_3		Ар+Пг+Сн
E^4_4		Ше+Пг+Гп
E^4_5		Пг+Сн+Гп
E^4_6	K,Mg,Ca//CO_3-H_2O	Са·Mg+K·1,5+K·Ca
E^4_7		Mg·3+ Са·Mg+K·1,5
E^4_8		Са·Mg+ K·Ca+Cc

		Продолжение таблицы 4.
E_9^4	K,Mg//SO_4,CO_3-H_2O	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_2O	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_2O	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

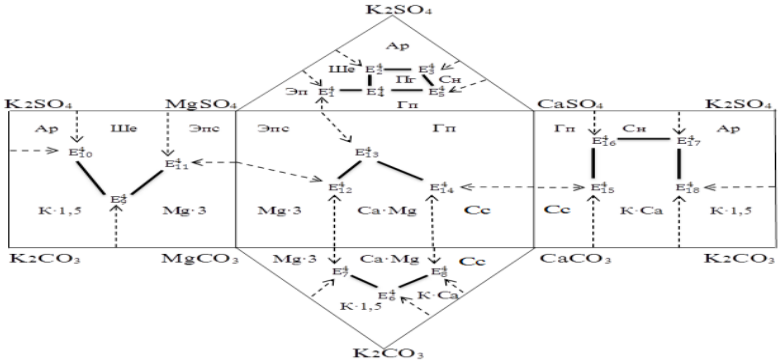


Рисунок 5. – Геометрическая структура изотермы 25°С системы K,Mg,Ca // SO_4,CO_3–H_2O на уровне четверного состава

При переходе от нонвариантных точек четырёхкомпонентного состава к пятикопонентной состава получаются следующие нонвариантные точки пятикомпонентноо состава.

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

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

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

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

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

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

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

$$E^4_{11} + E^4_{12} \dashrightarrow E^5_8 = Ше + Эпс + Mg \cdot 3 + Ca \cdot Mg;$$

$$E^4_4 + Ca \cdot Mg \dashrightarrow E^5_9 = Ше + Пг + Гп + Ca \cdot Mg;$$

$$E^5_{10} = Пг + К \cdot 1{,}5 + Ca \cdot Mg + Ар;$$

$$E^5_{11} = Пг + К \cdot 1{,}5 + Ca \cdot Mg + Ше;$$

$$E^5_{12} = Пг + К \cdot Ca + Ca \cdot Mg + Ар;$$

$$E^5_{13} = Гп + Ca \cdot Mg + Пг + К \cdot Ca;$$

«На основе полученных результатов созданы диаграммы фазовых равновесий систем K,Mg,Ca // SO_4,CO_3–H_2O при температуре 25°C по поверхностей пятикомпонентов» (рис. 6) [16. 223 – 233]. Разработанные диаграммы отражает основные закономерности фазовых равновесий, взаимное расположение фазовые равновесий и свойств фазообразования в исследуемых системах.

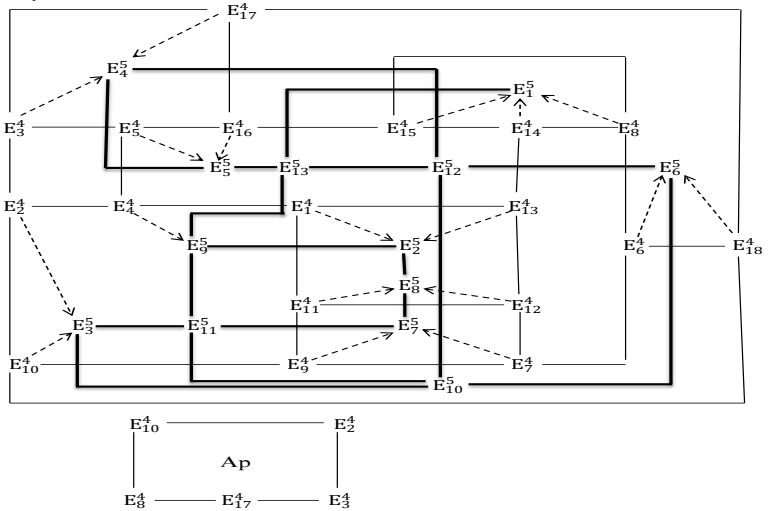


Рисунок 6. – Схематическое диаграмма фазовых равновесий изотермы 25 °C системы K,Mg,Ca // SO_4,CO_3–H_2O на уровне пятикомпонентного состава

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

Границей между этими полями составляет 35 моновариантных линий, которые отображает совместные равновесии двух твердых фаз. Кроме того, в диаграммы уточненно 13 нонвариантных точек, у которых расположено три твердых фаз при положенний равновесий.

Система K,Mg,Ca//SO_4-H_2O

«Данные трёхкомпонентный систем, как K_2SO_4 – $MgSO_4$ – H_2O, K_2SO_4 – $CaSO_4$ – H_2O $MgSO_4$ – $CaSO_4$ – H_2O входит в состав исследуемой водно – солевой систем K,Mg,Ca//SO_4-H_2O» [12, с. 112].

Из составной части четырёхкомпонентных водно-селевой систем, для третьей компонент только соответствую одно нонвариантной 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 (K_2SO_4·$MgSO_4$·$2CaSO_4$·$2H_2O$) происходит за счёт повышение температуры от 0 до 25 °С. Далее прибавление последних твердых фаз-полигалита, усложняет строение диаграммы и даёт обстоятельство для увеличение 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 нонвариантных точек по поверхности четырёхкомпонентных систем, это явления трансляции нонвариантных точек поверхности трехкомпонентных систем на поверхности четырёхкомпонентной систем. При равновесий для каждой из них при равновесий соответствуют следующие твердых фаз: 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.

Система K,Mg,Ca//CO_3-H_2O

Данная четырёхкомпонентная система при температуре 25°С состоит из трех водно – солевых подсистем: $CaCO_3$ – $MgCO_3$ – H_2O с двумя нонвариантных точек, K_2CO_3 – $CaCO_3$ – H_2O в таком же количестве (2 точка) и K_2CO_3 – $MgCO_3$ – H_2O с 1 нонвариантной 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 нонвариантных точек в четырёхкомпонентной системе является трансляция ранее определённых нонвариантных точек с уровней соответствующих подсистем на уровень четырёхкомпонентной системы. E_6^4 = К·Са+К·1,5+Са·Mg; E_7^4 = Са·Mg+М·3+ К·1,5 и E_8^4 = Сс+К·Са+Са·Mg.

Система К,Mg //SO_4,CO_3-H_2O

Этого четырёхкомпонентная система содержит следующих трехкомпонентных систем как: K,Mg//SO_4-H_2O; K//SO_4,CO_3-H_2O; Mg//SO_4,CO_3-H_2O и K, Mg //CO_3-H_2O. Для трехкомпонентная система K,Mg//SO_4-H_2O при надлежит две нонвариантных точек с равновесии твердых фаз, как: Ар+Ше; Ше+Эпс. Не изученные остальных многокомпонентных систем состоящей из трёх водно-солевых состав с мессей просто принято эвтоническим, так как для равновесной твердых фаз соответствует нонвариантных точек, как Ар+К·1,5; Эпс+М·3; и К·1,5+М·3. Трансляции нонвариантных точек трехкомпонентных систем на уровень четырёхкомпонентных систем является причиной образование нонвариантных точек четырехкомпонентного систем с твердого фазового равновесии, как E_9^4 =Ше+К·1,5+М·3; E_{10}^4=Ар+Ше+К·1,5 и E_{11}^4=Ше+Эпс+М·3.

Система Ca,Mg//SO_4,CO_3-H_2O

Данного система в свой состав имеет следующие трёхкомпонентных водно-солевого раствора: Ca,Mg//SO_4-H_2O; Ca,Mg//CO_3-H_2O; Ca//SO_4,CO_3-H_2O; Mg//SO_4,CO_3-H_2O. Для нижеприведённых трёхкомпонентных систем Ca,Mg//CO_3-H_2O принадлежит такие: Са·Mg+Сс и М·3+Са·Mg тверды фазовые равновесий. Для остальных трех других систем подходит по одной нонвариантных точек со следующими твердых фазовых равновесий: Эпс+Гп; Гп+Сс и Эпс +М·3. В результате трансляции, названные нонвариантных точек трехкомпонентных систем, на уровень четырёхкомпонентных систем, даёт возможность появление нонвариантных точек четырёхкомпонентных систем: E_{12}^4 = Эпс+ Са·Mg +М·3; E_{13}^4 = Гп+Эпс+ Са·Mg и E_{14}^4 = Гп+Сс +Са·Mg.

Система К,Ca//SO_4,CO_3-H_2O

«Для выявление фазовые равновесий систем K,Ca//SO_4,CO_3-H_2O при 25 °С, использованы из информации их трехкомпонентных систем равновесий K//SO_4,CO_3-H_2O; K,Ca//SO_4-H_2O; Ca//SO_4,CO_3-H_2O; K,Ca//CO_3-H_2O» [89. с.165]. Для двух их систем по одной нонвариантной точки, а для двух других их систем соответствует по две твердый фаз равновесии: Ар+К·1,5; Ар+Сн; Сн+Гп; Гп+Сс; К·1,5+К·Са и Сс+К·Са.

Растворимость системы K,Mg,Ca // SO_4–H_2O 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 практические достижение растворимости в нонвариантной 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°С, 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 планном. 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°С 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 K, Mg,Ca//SO_4-H_2O при 25 °С

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

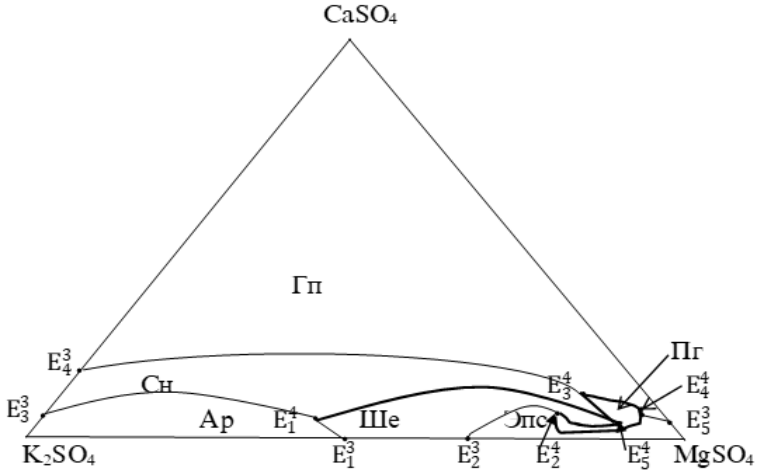


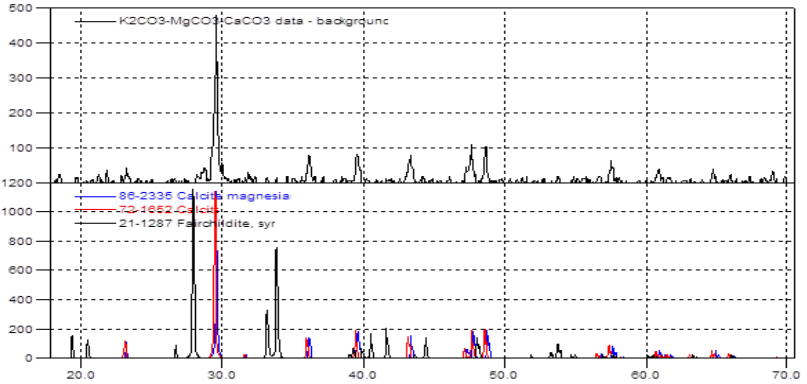
Рисунок 7. – Солевая часть диаграммы растворимости системы K,Mg,Ca // SO_4–H_2O при 25 °C

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.

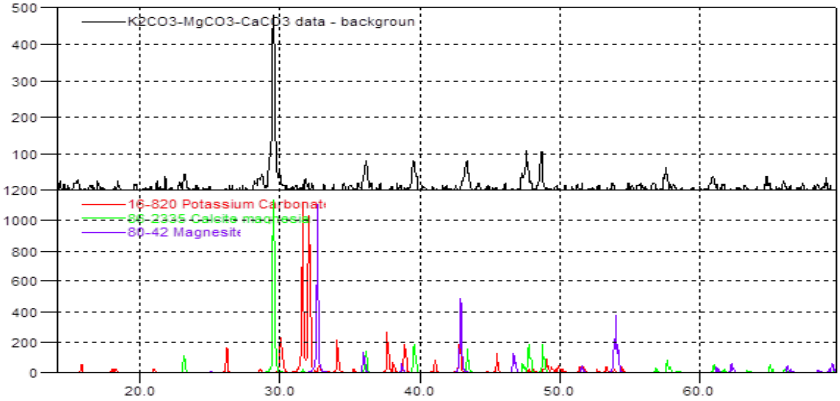
Растворимость системы K,Mg,Ca//CO_3-H_2O при 25 °C

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 черти 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 дифратограммы (рисунки 8), использованы для уточнения подробности твердых фаз равновесий.

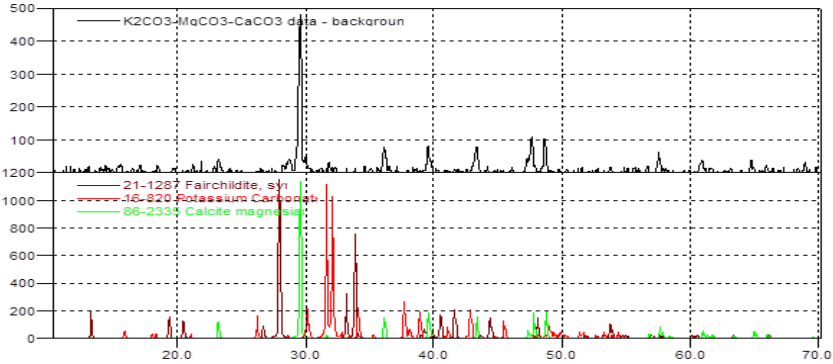
На основание практический данных, впервые построена диаграммы устойчивости этапов солей для четырёхкомпонентных О систем при температуре 25 °C.



Точка E_1^4 (Cc+ Ca·Mg+ K·Ca)



Точка E_2^4 (Ca·Mg+ K·1,5+ Mg·3)



Точка E_3^4 (Ca·Mg+ K·1,5+ K·Ca)

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

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 равностронный треугольник показано в рисунке 9 микроотображении твердых фаз равновесии полученных анализом которой принадлежало к исследованиям при положение фазовой равновесий приведены в рисунке 10.

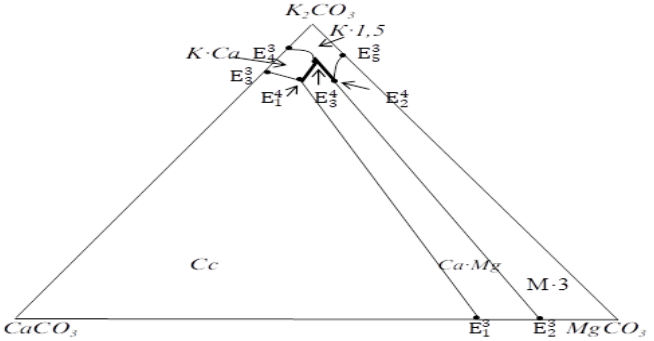


Рисунок 9. – Структура солевой части диаграммы растворимости системы K,Mg,Ca//CO_3-H_2O при 25 ºC

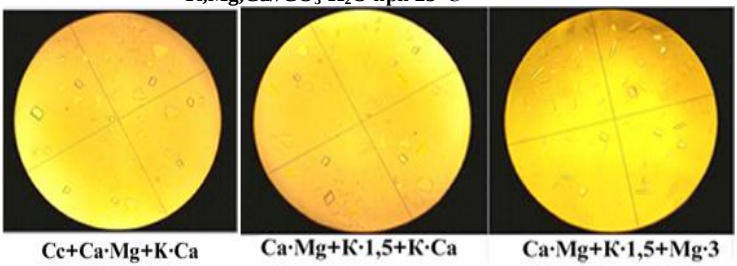


Рисунок 10. – Фотографии кристаллов равновесних твёрдых фаз в системе K,Mg,Ca//CO_3–H_2O при 25 °C

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. По методом трансляции определенно закономерности фазовых равновесий систем K,Mg,Ca//SO_4,CO_3–H_2O при температуры 0 и 25°C. На этой базе проведено исследований фазовых положений и связь между компонентов соответствующих четырёхкомпонентных подсистем и

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

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

3. Опираясь 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 разделны в отдельных фрагментах. Такой стиль для создание фазовые диаграммы четырёхкомпонентных 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 исследование 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 25ºС. На основе полученных результатов, определены положение свойственных точек равновесий, созданы диаграммы растворимости обе четырёхкомпонентных систем, которое отражает их способность фазообразование при температурных интервалах исследований [8 – М, 9 – М].

5. Растворимость трёх- и четырёхкомпонентных химических систем $K,Mg,Ca//SO_4–H_2O$ и $K,Mg,Ca//CO_3–H_2O$ при температурах 0 и 25 °С 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 систем $K,Mg,Ca//SO_4,CO_3–H_2O$, с помощью методом трансляции могуть служит в качестве научного источника и как справочный источник для описания фазовые положении 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-магниевые 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 солесодержащих отходов и рационального использования природных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солиев, Л. Асосҳои таҳлили физико-химиявӣ / Л. Солиев. – Душанбе: 2020. – 151с.

2. Аносов, В. Я. Основы физико-химического анализа / В.Я. Аносов,
М.И. Озерова, Ю.Я. Фиалков. –М: Наука, –1976. –506 с.

3. Горощенко, Я. Г. Массцентрический метод изображения многокомпонентных систем / Я.Г. Горощенко. – Киев.: Наукова думка, – 1982. –264 с.

4. Солиев, Л. Исследования фазовых равновесий в многокомпонентных физико-химических системах / Л. Солиев // Журнал физической химии. –1980. – Т. 54. – № 6. – С. 1541-1544.

5. Посыпайко, В. И. Методы исследования многокомпонентных солевых систем / В.И. Посыпайко. – М.: Наука. 1978. – 256 с.

6. Трунин, А. С. О методологии экспериментального исследования
многокомпонентных солевых систем / А.С.Трунин // Труды Инта
геологии и геофизики СО АН СССР. – 1980. – № 443. – С.37-73.

7. Перельман, Ф. М. Изображения химических диаграмм с любым числом компонентов / Ф.М. Перельман –М.: Наука, – 1965. – 100 с.

8. Жариков, В. И. Основы физико-химической петрологии / В.И. Жариков. – М.: – Изд-во – МГУ, –1976. – 420 с.

9. Низомов, И. М. Фазовые равновесия и растворимость системы
$Na,K//CO_3,HCO_3,F\text{-}H_2O$ при 0 и 25 °С: автореф. дис … канд. хим. наук / И. М. Низомов. – Душанбе: – 2009. – 22 с.

10. Жумаев, М. Т. Фазовые равновесия и растворимость в системе
$Na,Ca//SO_4,CO_3,HCO_3\text{-}H_2O$ при 0 и 25 °С: автореф. дис... канд. хим. наук / М. Т. Жумаев. – Душанбе, 2018. –24 с.

11. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы $K_2SO_4\text{-}MgSO_4\text{-}CaSO_4\text{-}H_2O$ при 0 °С / Л. Солиев, А. Тошов, С. Умарали // Материалы международной конференции теплофизической школы. – Душанбе.: Тамбов, 2015. –С. 418-424.

12. Солиев, Л. Прогнозирование фазовых равновесий в многокомпонентной системе морского типа методом трансляции. Кн 1. / Л. Солиев. – Душанбе: ТГПУ им. К. Джураева, 2000. –247 с.

13. Солиев, Л. Фазовые равновесия системы $K.Mg//SO_4\ CO_3\text{-}H_2O$ при 25 °С / Л. Солиев, С. Умарали, Б. Ҷаборзода // Международный научный журнал “Символ науки”. – 2018. № 4. – С. 11-15.

14. Солиев, Л. Мувозинатҳои фазагии системаи $Mg,Ca//SO_4,CO_3$ - H_2O дар ҳарорати 0 °С /Л.Солиев, М.Б. Усмонов, С.Умаралӣ // Пайёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши

илмҳои табиӣ, – 2020. – № 3. –С. 229-234.

15. Умаралии, С. Таҳлили муқоисавии мувозинатҳои фазагии системаи K,Ca// SO_4,CO_3 - H_2O дар ҳароратҳои 0 ва 25 ^oC / С. Умаралӣ, Л. Солиев // Конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ «Таҳқиқи таълими тафриқа» –Душанбе, –2019. – С.164-167.

16. Умарали, С. Мувозинатҳои фазагии системаи панҷкомпонентаи K,Mg,Ca// SO_4,CO_3 - H_2O дар ҳарорати 25 ^oC / С. Умаралӣ // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. Бахши илмҳои табиӣ. –2022. –№ 1. – С. 223 – 233.

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. Умаралӣ,** 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.Умаралӣ,** 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 0^0C/. Л. Солиев, М.Б. Усмонов, **С.Умаралӣ,** 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 25^0C / **С.Умаралӣ,** 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 25^0C/ **С.Умаралӣ** // 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 0^0C / **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 диаргаммаи системаи K_2CO_3-$MgCO_3$-$CaCO_3$-H_2O дар ҳароратҳои 0 ва 25°С / С.Умаралӣ, 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 калсий барои ҳарорати 25°С / **С.Умаралӣ,** 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, калсий барои ҳарорати 0°С / **С.Умаралӣ,** П. А. Мухторов, М.Б. Усмонов // Паёми Донишгоҳи омӯзгорӣ. Бахши илмҳои табиӣ. -2024. -№4. –С.104-110.

[10-М]. **Умаралии, С.** Исследование фазовых равновесий в системе K,Al//SO_4,F–H_2O при 25°С с использованием мметода 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 °С / 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°С / 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 °С / Л. Солиев, **С.Умаралӣ,** Б. Ҷаборзода // Международный научниый 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.Умаралӣ,** Г. Сино // Международный научниый 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^{0}С / Л. Солиев, **С.Умаралӣ** // 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^{0}С / 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^{0}С / Л. Солиев, **С.Умаралӣ,** Б. Ҷаборзода // 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^{0}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^{0}C / **С.Умаралӣ,** М.Б.Усмонов
Маводи конференсияи илмӣ- методии байналмилалӣ дар мавзӯи «Нақши илмҳои таббии 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 саҳаи илмӯ 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^{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^{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^{0}C / **С.Умаралӣ,** М.Б.Усмонов // Материалы международной научно-практической конференции по теме «Актуалные проблемы химической науки промышленности». –Фаргона. -2023. -С.24-28.

[23-М]. **Умаралии, С.** Фазовые равновесия системы сульфатов и карбонатов калия, магния, кальция при 0 ^{o}C **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 сулфатов и карбонатов калия, кальция при 0 и 25^{0}C / **С.Умаралӣ,** М.Б.Усмонов // Международная конференция «Химическая и образование, проблемы и перспективы развития» Дегистанский государственний педагогический унверситет им. Р. Гамзатова. – Махачкала. -2024. -С.90-93.

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

[26-М]. **Умаралии, С.** Диаграммаи ҳолатии системаи K,Mg,Ca//SO_4-H_2O барои ҳарорати 25^0C аз рӯи далелҳои ҳалшавандагӣ / **С.Умаралӣ,** М.Б.Усмонов // «Вазъи кунунӣ ва дурнамои таҳлили физико–химиявӣ», бахшида ба элон гардидани ҳадафи чоруми стратегӣ–саноатиунонии кишвар, солҳои 2022–2026. – Душанбе. -2025. –С. 127-130.

АННОТАТСИЯ

ба рисолаи Умаралии Сафаралӣ дар мавзуи «Ҳалшавандагӣ ва мувозинатҳои фазагии системаи сулфатҳо ва карбонатҳои калий, магний ва калсий барои ҳароратҳои 0 ва 25°С» барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илми 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 геометрӣ.

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 ташкилдиҳанда 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°С, инчунин омӯзиши тағйирёбии параметрҳои консентратсионии фазаҳо дар шаклҳои геометрии нуқтаҳо, хатҳо ва майдонҳои кристаллизатсионӣ мебошад.

Усулҳои таҳқиқот: омӯзиши ҳалшавандагӣ ва мувозинатҳои фазагии системаи сулфатҳо ва карбонатҳои калий, магний ва калсий ва системаи чоркомпонентаи онро ташкилдиҳанда: 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°С бо истифода аз усули транслятсия ва массентрӣ мебошад.

Навгонии илмии 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 фазавии системаи K, Mg,Ca//SO_4,CO_3 – H_2O дар ҳароратҳои 0 ва 25°С сохта шуданд, ки муносибати байни фазаҳои сахти мувозинатиро инъикос мекунанд;

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

- мавқеи майдонҳои дивариантии фазаҳои сахти кристаллӣ муайян карда шуданд ва дар асоси онҳо фрагментатсияи диаграммаҳои 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°С ба даст оварда шуд. Хусусиятҳои мувозинатҳои фазави онҳо муайян гардида, диаграммаҳои дахлдори ҳалшавандагӣ сохта шуданд.

Дараҷаи истифода: Натиҷаҳои дар системаи сулфатҳо ва карбонатҳои калий, магний ва калсий барои ҳароратҳои 0 ва 25°С 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 сулфатҳо ва карбонатҳои калий, магний ва калсий мебошанд, истифода бурда мешаванд.

Тадбиқи 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 сулфатҳо, карбонатҳои калий, магний 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 25ºС.

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 нонвариантных 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 // SO4,CO3–H2O 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.