

ДОНИШГОҶИ ДАВЛАТИИ ОМУЗГОРИИ ТОҶИКИСТОН
БА НОМИ САДРИДДИН АЙНӢ

Дар асоси дастнавис

ТДУ: 546.224+546.264+546.33

ТКБ: 24.1+24.121

М-44

МАҲМАДОВ Ҳафизулло Раҳматуллоевич

**ПОЛИТЕРМАИ ҲАЛШАВАНДАГӢ ВА КОМПЛЕКСИ ФАЗАГИИ
СИСТЕМАИ ОБӢ-НАМАКИИ СУЛФАТҲО,
КАРБОНАТҲОИ НАТРИЮ КАЛТСИЙ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т И

диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии
доктори фалсафа (PhD) аз рӯи ихтисоси 6D060600 – химия,
(6D060601 – химияи ғайриорганикӣ)

ДУШАНБЕ-2023

Диссертатсия дар кафедраи “Химияи умумӣ ва ғайриорганикӣ” – и
Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айнӣ
ичро карда шудааст

Мушовири илмӣ: **Солиев Лутфулло,**
Арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон, доктори
илмҳои химия, профессор

Рохбари илмӣ: **Жумаев Маъруфжон Тағоймуротович,**
номзади илмҳои химия, дотсент

Муқарризони расмӣ: **Бадалов Абулхайр,**
доктори илмҳои химия, профессор, узви вобастаи
Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон,
профессори кафедраи “Химияи умумӣ ва
ғайриорганикӣ” – и Донишгоҳи техникии
Тоҷикистон ба номи академик М.Осимӣ

Охунова Умеда Раҳматҷоновна,
номзади илмҳои химия, дотсенти кафедраи химияи
умумӣ ва методикаи таълими Донишгоҳи давлатии
Хучанд ба номи академик Б.Ғафуров

Муассисаи пешбар: Кафедраи химияи ғайриорганикии Донишгоҳи
миллии Тоҷикистон

Ҷимояи диссертатсия **14 сентябри соли 2023 соати 14:00** дар ҷаласаи
шурои диссертатсионии 6D. КОА – 010 дар назди Донишгоҳи миллии
Тоҷикистон баргузор мегардад. Суроға: 734025, ш.Душанбе, хиёбони
Рудақӣ, 17. E-mail: ikromovich80@mail.ru

Бо мӯхтавои диссертатсия тавассути сомонаи www.tnu.tj ва дар
китобхонаи марказии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон бо нишони
734025, ш.Душанбе, хиёбони Рӯдақӣ, 17 шинос шудан мумкин аст.

Автореферат “ _____ ” _____ соли 2023 фиристода шуд.

Котиби Шурои диссертатсионӣ,
доктори илмҳои химия, дотсент



Раҷабзода С.И.

ТАВСИФИ УМУМИИ КОР

Мубрами мавзӯи таҳқиқот. Системаҳои химиявӣ, аз он ҷумла системаҳои химиявии обӣ-намакӣ, асоси бисёр объектҳои табиӣ (чинсҳои кӯҳӣ, маъданҳои оксиду намакдошта) ва техникӣ (хӯлаҳо, партовҳои саноатӣ) мебошанд. Усули асосии омӯзиши системаҳои химиявӣ - таҳлили физико-химиявӣ мебошад, ки бо ёрии он мо метавонем қонуниятҳои боҳамтаъсиркунии қисмҳои таркибии онҳоро муайян намуда, диаграммаҳои ҳолатӣ ё комплекси фазагиашонро созем. Диаграммаҳои ҳолатии системаҳои химиявӣ ифодаи алоқамандии хосиятҳо (ҳалшавандагӣ, ғудохташавӣ, барқгузаронӣ, кашиши сатҳӣ, зичӣ ва ғ.) ба таъсири омилҳо, аз ҷумла ҳарорат ва фишор буда, омӯзиши системаҳои мураккаби обӣ-намакӣ яке аз проблемаҳои актуалии химияи ғайриорганикӣ мебошад. Чунин омӯзиш барои муқаррарсозии қонуниятҳои ҳалшавандагӣ ва комплекси фазагии системаҳои химиявии номбурда зарур ба шумор рафта, дар ҳамин асос шароитҳои оптималии коркарди ашёи полиминералии табиӣ ва мураккаби техникӣ муайян карда мешавад.

Дарачаи таҳқиқи мавзӯи илмӣ. Назария ва усулҳои таҳқиқи системаҳои химиявӣ, аз он ҷумла системаҳои химиявии компонентнокиашон зиёд, аз тарафи як қатор олимон, ба монанди Лодочников В.Н., Радищев В.П., Аносов В.Я., Коржинский Д.С., Перелман Ф.М., Жариков В.А., Посыпайко В.И., Михеева В.И., Горошенко Я.Г., Трунин А.С., Солиев Л. ва ғ инкишоф дода шудааст. Тадқиқи омӯзиши системаҳои бисёркомпонентии обӣ-намакӣ дар монографияҳои Л.Солиев муфассал оварда шудааст.

Дар баробари ин назария ва усулҳои таҳқиқи системаҳои химиявӣ махсусан системаҳои химиявии бисёркомпонентии обӣ-намакӣ ба тақдир додан ниёз дорад, чунки то ҳол на ҳамаи паҳлуҳои ин проблемаи муҳим ҳалли худро ёфтааст. Дар қорҳои қаблии олимони болозикр системаҳои химиявии $\text{Na, K, Mg, Ca} \parallel \text{SO}_4, \text{Cl-H}_2\text{O}$, $\text{MgO-FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, $\text{Na, Ba} \parallel \text{F, Cl, WO}_4$ дар изотермаҳои алоҳида омӯхта шуда, диаграммаи онҳо сохта шуда бошад, ҳам, вале то ҳол политермаи комплекси фазагӣ ва ҳалшавандагии системаи обӣ-намакии таркибан иборат аз сульфатҳо, карбонатҳои натрийю калтсий омӯхта нашудааст.

Робитаи таҳқиқот бо барномаҳо (лоиҳаҳо) ва ё мавзӯҳои илмӣ. Диссертатсияи мазкур вобаста ба иҷрои нақшаи мавзӯи фармоиши «Ҳалшавӣ ва кристаллизатсияи намакҳо дар системаи бисёркомпонентии иборат аз сульфатҳо, карбонатҳо, гидрокарбонатҳо, фторидҳои натрий, калий ва калсий ташкил ёфта» (рақами қайди давлатиаш (№ ҚД 0119ТJ00957 солҳои 2019-2023) ба роҳ монда шудааст.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади қори доктор (PhD) – и мазкур омӯзиши политермаи комплекси фазагӣ ва ҳалшавандагии системаи аз сульфатҳо, карбонатҳои натрийю калтсий ва системаҳои ду ва секомпонентии онро ташкилдиханда, мебошад.

Барои иҷрои ин мақсад қорҳои зерин ба анҷом расонида шудааст:

- вазъи омӯзиши системаи химиявии муовизаи иборат аз сульфатҳо, карбонатҳои натрийю калтсий ва системаҳои секомпонентии онро ташкилдиханда, барои изотермаҳои 0, 25, 50, 75 ва 100 °С;

- вобаста ба маълумотҳои мувозинатҳои фазагӣ дар системаҳои ду ва секомпонента, омӯзиши комплекси фазагии системаи се ва чоркомпонента барои изотермаҳои 0, 25, 50, 75 ва 100 °С, бо истифодаи усули транслятсия;

- муайянкунии ҳалшавандагии системаҳои химиявии се ва чоркомпонентии $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ барои изотермаҳои 0, 25, 50, 75 ва 100 °С ва сохтани диаграммаи ҳалшавандагии онҳо;

- таҳқиқи политермаи ҳалшавандагии системаи таркибан иборат аз сульфатҳо, карбонатҳои натрийю калтсий ташкил ёфта ва сохтани, диаграммаи политермии онҳо барои сатҳҳои се ва чоркомпонентагӣ.

Объекти таҳқиқоти илмӣ системаи муовизаи чоркомпонентии $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$, зерисистемаҳои секомпонентии $\text{Ca}^{2+} - \text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}^{2+} - \text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ва системаҳои дукомпонентии системаҳои секомпонентаро ташкилдиханда мебошанд.

Мавзӯи таҳқиқоти илмӣ политермаи ҳалшавандагӣ ва комплекси фазагии системаи обӣ-намакии сулфатҳо, карбонатҳои натрийю калтсий аст.

Навгонии илмии рисолаи доктор (PhD) - и иҷрогардида дар он асос меёбад, ки:

- бори аввал тавассути истифода намудан аз усули тарнслятсия изотермаҳои комплекси фазагии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар 0,16, 25,16, 50,16, 75,16 ва 100,16 °C омӯхта шуда, диаграммаи сарбастаи онҳо сохта шудааст;
- маротибаи аввал ҳалшавандагии системаи химиявии муовизаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ омӯхта шуда, диаграммаи ҳалшавандагии онҳо барои изотермаҳои 0,16, 25,16, 50,16 ва 75,16 °C сохта шудаанд;
- политермаи ҳалшавандагии системаи иборат аз карбонатҳо, сулфатҳои калтсийю натрийю омӯхта шуда, диаграммаи политермии онҳо дар сатҳҳои се ва чоркомпонентагӣ сохта шудааст;
- фрагментатсияи майдонҳои кристаллизатсияи фазаҳои саҳт дар ҳароратҳои овардашуда амалӣ гардонидани шудаанд.

Аҳамияти назариявӣ ва илмию амалии таҳқиқоти мазкур дар он аст, ки:

- далелҳои бадастомада оид ба комплекси фазагӣ дар майдонҳо, хатҳо, нуқтаҳои системаи мазкур, ҳамчун далелҳои маълумотномавӣ барои омӯзиши мувозинатҳои фазагии системаҳои умумии мураккаби ин системаро дарбаргиранда истифода бурда мешаванд;
- далелҳои бадастомада оид ба мувозинатҳои фазагӣ дар шаклҳои геометрии системаи таркибан катионҳои натрийю, калтсий анионҳои сулфат, карбонатдошта барои пешбинӣ кардани роҳҳои кристаллизатсияи намакҳо дар натиҷаи коркарди галлургии ашёҳои табиӣ сулфатю карбонатии маҳаллӣ истифода мешаванд.

Нуқтаҳои ба химоя пешниҳодшавандаи рисолаи илмии мазкур асосан инҳоянд:

- вазъи омӯзиши системаи химиявии муовизаи иборат аз сулфатҳо, карбонатҳои натрийю калтсий ва системаҳои секомпонентаи онро ташкилдиҳанда, барои изотермаҳои 0,16, 25,16, 50,16, 75,16 ва 100,16 °C, муайян карда шудааст;
- вобаста ба маълумотҳои мувозинатҳои фазагӣ дар системаҳои ду ва секомпонентагӣ, комплекси фазагии системаи се ва чоркомпонента барои изотермаҳои 0,16, 25,16, 50,16, 75,16 ва 100,16 °C, бо истифодаи усули тарнслятсия сохта шудааст;
- ҳалшавандагии системаҳои химиявии се ва чоркомпонентаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ барои изотермаҳои 0, 25, 50, 75 ва 100 °C, омӯхта шуда, диаграммаи ҳалшавандагии онҳо сохта шудааст;
- политермаи ҳалшавандагии системаи таркибан иборат аз сулфатҳо, карбонатҳои натрийю калтсий ташкилёрфта омӯхта шуда, диаграммаи политермии онҳо барои сатҳҳои се ва чоркомпонентагӣ сохта шудааст.

Дарачаи эътимоднокии таҳқиқод. Бо эътимод будани натиҷаҳои ноилгаштаро усулҳои муосири таҳлили физико-химиявӣ, апрабатсияи онҳо дар форум, симпозиум, конференсияҳои сатҳҳои байналхалқию ҷумҳуриявӣ ва нашри мавод дар маҷаллаҳои илмии профилӣ таъмин ва асоснок менамоянд.

Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ. Натиҷаҳои илмӣ-таҳқиқотии ноилгашта ба паспорти ихтисоси химияи ғайриорганикӣ, хусусан ба бандҳои асосҳои фундаменталии натиҷаҳои ноилгардии объектҳои химияи ғайриорганикӣ ва маводҳо дар асоси онҳо, қобилияти реаксионии пайвастагиҳои ғайриорганикӣ дар ҳолатҳои гуногуни агрегатӣ, шароити эксперименталӣ ва алоқаи байни таркиб, сохту хосиятҳои пайвастагиҳои ғайриорганикӣ мувофиқат менамояд.

Саҳми шахсии муаллиф. Саҳми шахсии муаллиф аз таҳлили адабиёти истифодашуда, ба нақшагирӣ ва иҷрои тадқиқотҳои назариявӣ амалӣ, коркард ва ҳулосабарории натиҷаҳои бадастовардашуда, тайёр ва нашр намудани мақолаҳои илмӣ ва апробатсияи онҳо иборат аст.

Тасвиб ва амалисозии натиҷаҳои диссертатсия. Натиҷаҳои асосӣ ва муҳимтарини иҷрои рисолаи илмӣ мазкур: дар конференсияҳои солони Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон (Душанбе, 2017-2023); конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалии «Перспективы инновационной технологии в развитии химической промышленности Таджикистана» (Душанбе, 2017); конференсияи илмӣ умумироссиягӣ бо иштирокчиёни

байналхалкии «III Байкальский материаловедческий форум» (Улан-Уде, 2018); IV конференсияи байналхалкии «Вопросы физической и координационной химии» (Душанбе, 2019); XXI Сиезди Менделеевӣ оид ба химияи умумӣ ва татбиқӣ (Санкт-Петербург, 2019); конференсияи ҷумҳуриявӣи хониши Нӯъмоновӣ (Душанбе, 2020); IV-конференсияи олимони ҷавони Умумироссиягӣ бо иштирокчиёни байналхалқӣ (Улан-Уде, 2020); симпозиуми Умумироссиягии олимони ҷавон таҳти унвони «Физико-химическое методы в междисциплинарных экологических исследованиях» (Севастополь, 2021); конференсияи илмию амалии байналхалқӣ «Проблемаҳои муосири саноати металлургӣ» (Душанбе, 2021); IV форуми маводшиносӣ Байкал (Улан-Уде, 2022); конференсияи ҷумҳуриявӣи илмӣ-амалии «Вазъи кунунӣ ва дурнамои таҳлили физико-химиявӣ» (Душанбе, 2023) ва конференсияи илмӣ-назариявӣи байналхалқӣ дар мавзӯи «Рушди илмҳои химия, технология ва экологияи химиявӣ» (Душанбе, 2023) муҳокима шуда, аз апробатсия гузаштаанд.

Маводи нашршуда. Ҳангоми иҷрои рисолаи мазкур 23 мавод ба нашр расонида шудааст, ки аз зумраи онҳо: 1 – нахустпатент; 11 мақолаи илмӣ дар журналҳои тақризшавандаи рӯйхати КОА назди Президенти ҶТ (4-Scopus) ва ФР ва 11 фишурдаи маърузаҳои конференсияҳои байналхалқӣю ҷумҳуриявӣ мебошанд.

Ҳаҷм ва сохтори рисолаи доктор (PhD). Рисола дастанвисе мебошад, ки дар 134 саҳифа сабт шудааст, аз муқаддима, 4 боб ва хулосаҳо ташкил ёфтааст ва он 28 расм ва 20 ҷадвал, 102 номгӯи адабиёти истифодашударо дар бар мегирад.

МАЗМУНИ АСОСИИ КОР

Дар муқаддима актуалӣ будани мавзӯи рисола асоснок кунонида шуда, оиди мақсад ва вазифаҳои таҳқиқи мазмуни асосии он сухан меравад.

Дар боби якум оиди усулҳои омӯзиши мувозинатҳои фазагии системаҳои бисёркомпонента, аз ҷумла: усули тақсимкунии системаҳои бисёркомпонентаи аввалин ба дувумин; усули ситораҳои сингулярӣ; усули блокҳои ягонаи фазагӣ (ФЕБ); усули транслатсия сухан рафта дар интиҳои боб хулосаи шарҳи адабиёт низ оварда шудааст.

Боби дуюми рисола ба комплекси фазагии системаи чоркомпонентаи иборат аз сульфатҳо, карбонатҳои натрийю калсий бахшида шуда, дар он системаи химиявӣ номбаршуда дар изотермаҳои 0,16, 25,16, 50,16, 75,16 ва 100,16⁰С омӯхта шуда диаграммаи комплекси фазагии он сохта шудааст ва ба майдонҳои кристаллизатсияи фазаҳои алоҳида фрагментатсия кунонида шудаанд.

Боби сеюм қисми эксперименталии корро дар бар гирифта, он ба омӯзиши ҳалшавандагии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳароратҳои 0,16, 25,16, 50,16 ва 75,16⁰С мавриди муҳокима қарор дода шудааст.

Дар боби чоруми рисола натиҷаи омӯзиши политермаи ҳалшавандагӣ ва комплекси фазагии системаи муовизаи чоркомпонентаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар сатҳи се ва чоркомпонентагӣ муҳокима карда шудааст.

Рисола бо хулосабарории умумӣ ва рӯйхати адабиёти истифодашуда ба итмом мерасад. Дар рисола барои фазаҳои саҳти мувозинатӣ аломатҳои шартии зерин қабул карда шудааст: Мб – мирабилит – $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$; С-10 – декагидрати карбонати натрий – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$; Те – тенардит – Na_2SO_4 ; С-1 – термонатрит – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$; С-7 – гептагидрати карбонати натрий – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; Бр – беркеит – $2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$; Сс – калсит CaCO_3 ; Гб – глауберит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$; Гл – гейлюссит $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; Пр – пирсонит $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 5Са·На·3 – $5\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; Гп-гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

1. Усулҳои таҳқиқи системаҳои химиявӣ

Қонуниятҳои мувозинатҳои фазагӣ дар системаҳои химиявӣ асоси назариявӣ ҳамагуна равандҳои технологие мебошанд, ки ба коркарди технологӣи ашёи табиӣ ва техникӣ алоқаманданд. Усули асосии омӯзиши системаҳои химиявӣ – таҳлили физико-химиявӣ мебошад, ки имконият медиҳад боҳамтаъсиркунии қисмҳои таркибии онҳоро (компонентҳоро) муаян сохта, диаграммаҳои ҳолатии (ҳалшавандагӣ, гудохташавӣ), ё диаграммаҳои комплекси фазагии (мувозинати фазагии) онҳоро созем. Системаҳое, ки то чор компонент доранд бо ёрии фигураҳои геометрии фазои сеченакӣ (яъне фигураҳои геометрии фазои реалӣ) тасвир ёфтанишон мумкин. Бо зиёдшавии компонентнокии система (то 5 ва аз он зиёд) тасвири он бо ёрии фигураҳои геометрии фазои реалии

сеченака ғайриимкон мегардад.

Ҳамзамон, бо зиёдшавии компонентнокии система инчунин теъдоди шаклҳои геометрии система низ (нуктаҳои нонварианти, хатҳои моноварианти ва майдонҳои диварианти) меафзояд. Зиёдшавии шаклҳои геометрии дар система ба камшавии фарқи концентратсияи маҳлули сери мувозинати меоварад, ки муайянкунии муайянкунии онро душвор мегардонад. Зиёдшавии адади компонентҳо дар системаҳои химиявӣ инчунин сабабгори собабгори мураккабшавии сохтори диаграмма шуда, имконияти тасвири онро дар як нақша (тарҳ) душвор мегардонад.

Дар методологияи таҳлили физико-химиявӣ системаҳо як қатор равандҳои асосӣ (триангуляция, ситораҳои сингулярий, ФЕБ – ҳо, камшавии иқтидори термодинамикӣ, графоаналитикӣ ва ғ.) мавҷуданд. Вале, ҳамаи онҳо тадбиқи маҳдуд доранд, ки ба андозанокии фигураҳои геометрии фазои реалӣ, зарурати ҳосилшавии фазаҳои нави саҳти мувозинати, аппарати математикӣ барои ҳисобҳои термодинамикӣ алоқаманд аст. Ҳамзамон, бо пешниҳод ва қабули принципи мутобиқат – ҳамчун принципи сеюм дар назария ва амалияи таҳлили физико-химиявӣ, имкониятҳои нав дар омӯзиши системаҳои химиявӣ ба миён омад.

Мувофиқи принципи мутобиқат дар вақти сохтани диаграммаҳои комплекси фазагӣ ҳамроҳ шудани шаклҳои геометрии системаҳои n ва $n+1$ компонента дар як диаграмма ҷой дорад. Вобаста ба принципи мутобиқат ва хосиятҳои шаклҳои геометрии системаи n – компонента, ки дар ҳолати гузаштан ба сатҳи $n+1$ компонента ченаки худро яктогӣ зиёд мекунад, усули нави васеъ тадбиқёфтаи пешгуи намудани комплекси фазагии системаҳои химиявӣ – усули транслятсия коркард шудааст. Мувофиқи талаботҳои усули транслятсия шаклҳои геометрии системаҳои n – компонента, бо илова намудани компонентаи минбаъда ва гузаштан ба ҳолати $n+1$ компонентнокӣ, трансформатсия мешаванд ва мутобиқ ба хосиятҳои топологияшону талаботҳои қоидаи фазаҳои Гиббс шаклҳои геометрии системаи $n+1$ компонентаро ташкил медиҳанд.

Мо дар таҳқиқи комплекси фазагии системаи $\text{Na}, \text{Ca} // \text{SO}_4, \text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ ва системаҳои секомпонентаи онро ташкилдиҳанда аз усули транслятсия истифода кардаем.

2. Системаи чоркомпонентаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ // \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ва ҳолати политермии омӯзиши он

Системаи чоркомпонентаи муовизаи иборат аз сульфатҳо, карбонатҳои натрию калтсий аз зерсистемаҳои секомпонентаи зерин: $\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$; $\text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$; $\text{Ca}^{2+} - \text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$; $\text{Ca}^{2+} - \text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ташкил ёфтааст.

Изотермаи остовҳои координатӣ дар 0,16 °C нишон медиҳад, ки аз системаҳои секомпонентаи онро ташкилдиҳанда се тоашон дорои яктоги нуктаи нонварианти буда, барои онҳо чунин фазаҳои мувозинати хос мебошанд: $\text{Mб} + \text{C} \cdot 10$; $\text{Гп} + \text{Mб}$; $\text{Гп} + \text{Cс}$. Системаи секомпонентаи $\text{Ca}^{2+} - \text{Na}^+ - \text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 0,16 °C ду нуктаи нонварианти дорад ва фазаҳои саҳти мувозинатиашон $\text{C} \cdot 10 + \text{Гл}$ ва $\text{Гл} + \text{Cс}$ аст. Транслятсияи ин нуктаҳои нонвариантии сатҳи секомпонента ба сатҳи чоркомпонента сабаби ҳосилшавии се нуктаи нонвариантии ин сатҳ дар изотермаи 00C мегарданд, ки инҳоянд: E_1^4 , E_2^4 ва E_3^4 . Барои онҳо чунин фазаҳои саҳти мувозинати хос мебошад: $\text{Mб} + \text{Гл} \cdot \text{C}10$; $\text{Гп} + \text{Гл} + \text{Cс}$ ва $\text{Mб} + \text{Гл} + \text{Гп}$.

Изотермаи остовҳои координатӣ дар 25,16 °C шаҳодат медиҳад, ки системаҳои секомпонентаи $\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ва $\text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ яктогӣ нуктаҳои нонварианти доранд ва фазаҳои саҳти мувозинатиашон бошад чунин: $\text{Mб} + \text{C} \cdot 10$ ва $\text{Гп} + \text{Cс}$ мебошад. Дигар системаҳои секомпонентае, ки системаи чоркомпонентаи таҳқиқшавандаро муттаҳид мекунад дар ҳарорати додашуда дутогӣ нуктаҳои нонварианти доранд ва фазаҳои мувозинати нуктаҳои нонварианти $\text{Mб} + \text{Гб}$; $\text{Гб} + \text{Гп}$; $\text{C} \cdot 10 + \text{Гл}$ ва $\text{Гл} + \text{Cс}$ мебошанд. Дар натиҷаи транслятсия нуктаҳои нонвариантии зерин ба сатҳи чоркомпонентаи чунин нуктаҳои нонвариантии E_1^4 , E_2^4 , E_3^4 , E_4^4 ва E_5^4 ҳосил мекунад: ва онҳо чунин фазаҳои саҳти мувозинати доранд: $\text{Te} + \text{Br} + \text{Гб}$; $\text{Br} + \text{C1} + \text{Пр}$; $\text{Гб} + \text{Гп} + \text{Cс}$; $\text{Гб} + \text{Cс} + \text{Пр}$ ва $\text{Гб} + \text{Br} + \text{Пр}$.

Изотермаи остовҳои координатӣ дар 50,16 °C исбот менамояд, ки миқдори нуктаҳои нонвариантии зерсистемаҳои онро ташкилдиҳанда нисбат ба изотермаҳои 0,16 ва 25,16 °C зиёдтар ба назар мерасанд, чунки дар байни сетои онҳо боҳамтаъсиркунӣ

мавҷуд буда, сабабгори ҳосилшавии фазаҳои нави мувозинатӣ мегарданд. Фазаҳои саҳти мувозинатии нуқтаҳои нонвариантии системаҳои болозикр чунинанд: Те+Бр; Бр+С·1; Те+Гб; Гб+Гп; С·1+Пр; Пр+Сс. Мувозинати фазагӣ дар нуқтаи нонвариантии системаи секомпонентаи $\text{Ca}^{2+}\text{-CO}_3^{2-}\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ барои ҳарорати 50,16 °С Гп+Сс буда, нишон медиҳад, ки дар ҳарорати додашуда низ барои он як нуқтаи нонвариантии хос аст.

Изотермаи остовҳои координатӣ дар 75,16 °С муайян менамояд, ки барои он нуқтаҳои нонвариантии зерсистемаҳои секомпонентаи онро ташкилдиханда нисбати ҳароратҳои 0,16, 25,16 ва 50,16 °С зиёд ба назар мерасад, барои он ки дар ҳарорати 75,16 °С байни фазаҳои мувозинатии глауберит ва гипс таъсири мутақобила ба вучуд омада, кристаллогидрати намаки дучандаи $5\text{CaSO}_4\cdot\text{Na}_2\text{SO}_4\cdot\text{CaSO}_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ҳосил мешавад. Дар ҳарорати додашуда барои системаҳои секомпонентаи онро ташкилдиханда 8 – нуқтаи нонвариантии хос буда, фазаҳои саҳти мувозинатии онҳо чунин мебошанд: Те+Бр; Бр+С·1; Те+Гб; Гб+5Са·На·3; 5Са·На·3+Гп; С·1+Пр; Пр+Сс ва Гп+Сс. Мувозинати фазагӣ дар нуқтаҳои нонвариантии системаи секомпонентаи $\text{Ca}^{2+}\text{-CO}_3^{2-}\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 75,16 °С ифода менамояд, ки барои он як нуқтаи нонвариантии хос мебошад.

Изотермаи остовҳои координатӣ дар 100 °С миқдори нуқтаҳои нонвариантии сатҳи секомпонентаи системаи чоркомпонентаи таҳқиқшаванда нисбат ба ҳарорати 75°С камтар ба назар мерасанд, чунки бо баландшавии ҳарорат аз 75,16 то 100,16 °С фазаи мувозинатии $5\text{CaSO}_4\cdot\text{Na}_2\text{SO}_4\cdot\text{CaSO}_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ нест мешавад ва ба камшавии элементҳои геометрии системаи номбурда меоварад. Сохтори диаграмма муайян менамояд, ки барои он дар ҳарорати 100,16 °С 7 – нуқтаи нонвариантии хос буда, дар онҳо чунин фазаҳои саҳти Те+Бр; Бр+С·1; Гп+Сс; Те+Гб; Гб+Гп; С·1+Пр ва Пр+Сс дар мувозинат қарор доранд. Мувозинати фазагӣ дар нуқтаҳои нонвариантии системаи секомпонентаи $\text{Ca}^{2+}\text{-CO}_3^{2-}\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 100,16 °С низ нишон медиҳад, ки системаи номбурда дар ҳолати эвтоникӣ қарор дорад ва барои он як нуқтаи нонвариантии хос аст.

Нуқтаҳои нонвариантии системаи чоркомпонентаи иборат аз карбонатҳо, сульфатҳои калтсийю натрий ва об ташкилёфта дар сатҳи секомпонентагӣ, ки бо усули транслятсия ёфта шудааст, дар чадвали 1 оварда шудааст.

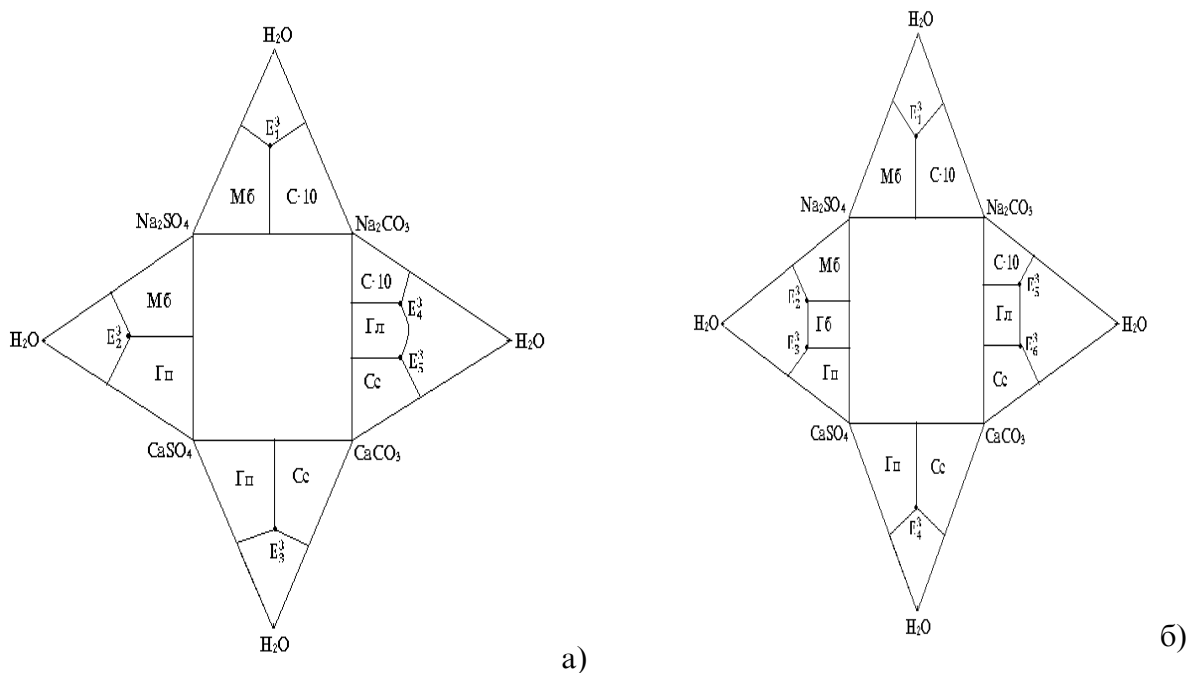
Чадвали 1. Политермаи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи секомпонентаи системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ бо фазаҳои саҳти мувозинатиашон

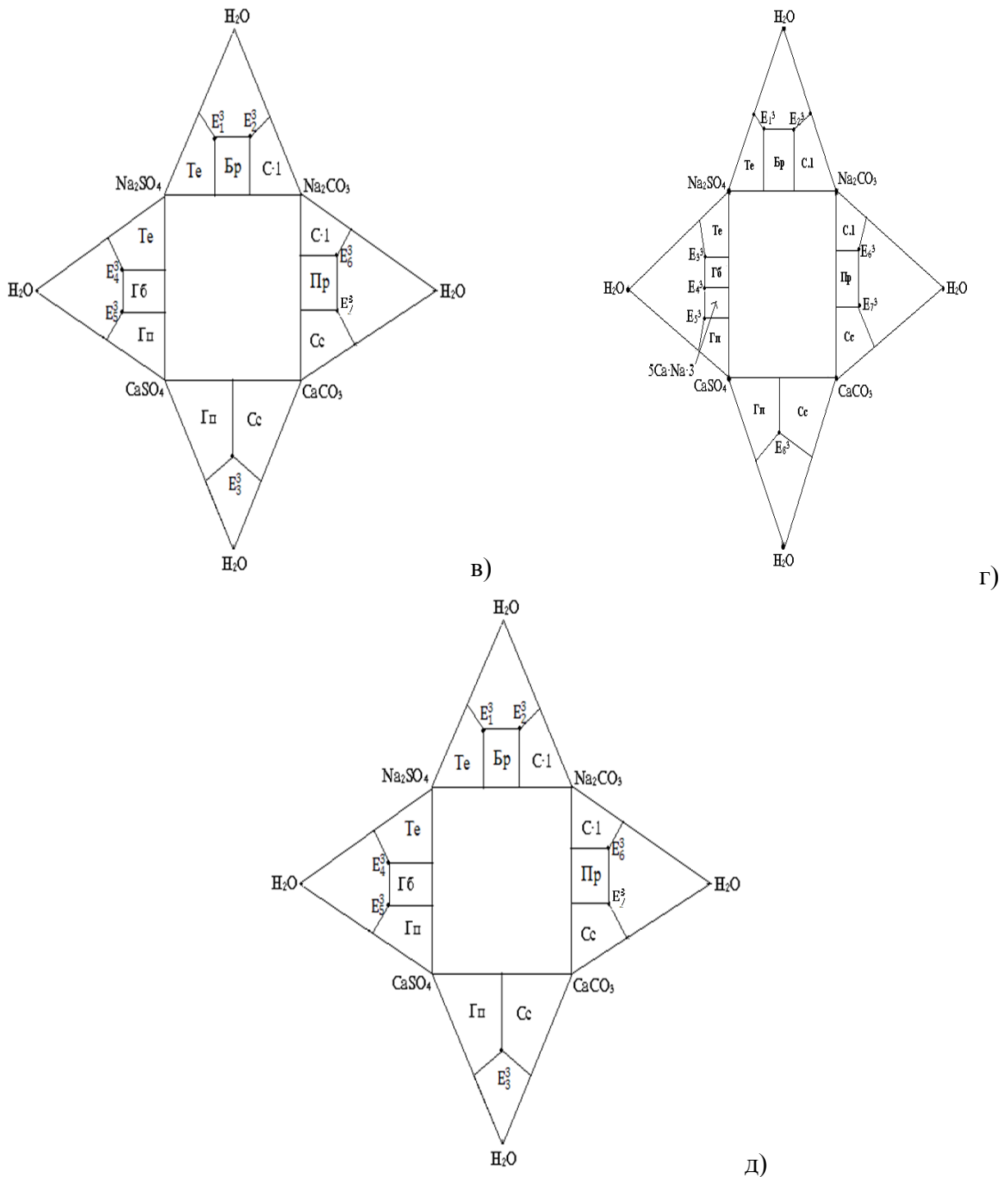
Система	Изотерма, °С	Нуқтаҳои нонвариантии	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
$\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	0,16	E_1^3	Мб+С·10
	25,16	E_1^3	Мб+С·10
	50,16	E_1^3 E_2^3	Те+Бр Бр+С·1
	75,16	E_1^3 E_2^3	Те+Бр Бр+С·1
	100,16	E_1^3 E_2^3	Те+Бр Бр+С·1
$\text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	0,16	E_3^3	Гп+Сс
	25,16	E_4^3	Гп+Сс
	50,16	E_3^3	Гп+Сс
	75,16	E_8^3	Сс+Гп
	100,16	E_3^3	Гп+Сс
$\text{Ca}^{2+} - \text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	0,16	E_2^3	Гп+Мб
	25,16	E_2^3 E_3^3	Мб+Гб Гб+Гп

	50,16	E_4^3 E_5^3	Te+Гб Гб+Гп
	75,16	E_3^3 E_4^3 E_5^3	Te+Гб Гб+5Ca·Na·3 5Ca·Na·3+Гп
	100,16	E_4^3 E_5^3	Te+Гб Гб+Гп
Ca ²⁺ -Na ⁺ -CO ₃ ²⁻ -H ₂ O	0,16	E_4^3 E_5^3	С·10+Гл Гл+Сс
	25,16	E_5^3 E_6^3	С·10+Гл Гл+Сс
	50,16	E_6^3 E_7^3	С·1+Пр Пр+Сс
	75,16	E_6^3 E_7^3	С·1+Пр Пр+Сс
	100,16	E_6^3 E_7^3	С·1+Пр Пр+Сс

Дар асоси далелҳои ҷадвали 1 диаграммаи мувозинатҳои фазаи системаи чоркомпонентаи муовизаи иборат аз сульфатҳо, карбонатҳои натрийю калтсий ва об дар диапазонати ҳарорати 0-100,16 °С ва сатҳи чоркомпонентагӣ сохта шудааст. Дар расми 1 сохтори диаграмма дар шакли пирамидаи “кушода” сохта шуда, оварда шудааст.

Диаграммаи сохташуда минбеъд ҳамчун асос барои дар он ҷойгир намудани шаклҳои геометрии сатҳи компонентнокии минбаъда истифода карда мешавад. Аз диаграммаҳои сохташуда бармеояд, ки барои системаи таҳқиқшаванда дар сатҳи секомпонентагӣ дар диапазонаи ҳароратҳои 0-100,16 °С 11 майдони дивариантӣ (майдонҳои кристаллизатсияи фазаҳои саҳти индивидуалӣ), 14 хатҳои моновариантӣ (хатҳои якҷояи кристаллизатсияшавии дуфаза) ва 14 нуқтаҳои нонвариантӣ (нуқтаҳои якҷояи кристаллизатсияшавии ду фаза бо маҳдуди сер) хос мебошад.





Расми 1. Остовҳои координатии диаграммаи комплекси фазагии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар изотермаҳои алоҳида: а) $0,16 \text{ }^\circ\text{C}$; б) $25,16 \text{ }^\circ\text{C}$; в) $50,16 \text{ }^\circ\text{C}$; г) $75,16 \text{ }^\circ\text{C}$; д) $100,16 \text{ }^\circ\text{C}$

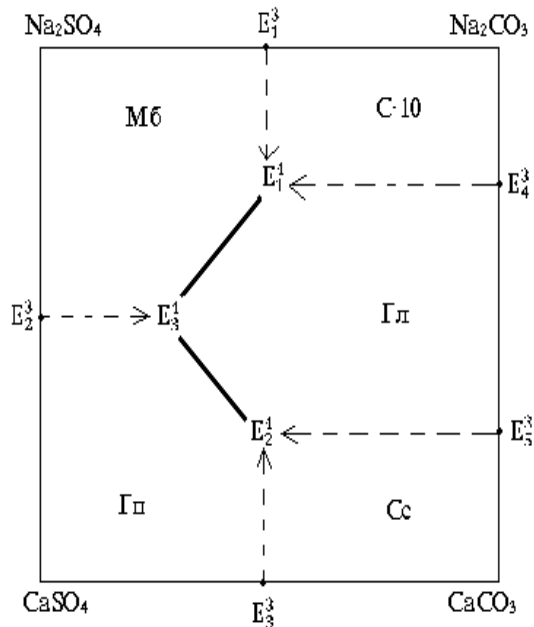
Системаи чоркомпонентаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$.

Барои пешгӯи намудани комплекси фазагии системаи овардашуда дар диапазонаи ҳарорати $0-100,16 \text{ }^\circ\text{C}$ бо усули транслятсия далелҳои мувозинати фазагӣ дар нуқтаҳои нонвариантии сатҳи секомпонента истифода карда шудааст (ҷадвали 1). Дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи секомпонента ба сатҳи чоркомпонента чунин нуқтаҳои нонвариантии ин сатҳ бо фазаҳои саҳти мувозинатиашон ҳосил мешаванд, ки онҳо дар изотермаҳои алоҳида дар ҷадвали 2 оварда шудааст.

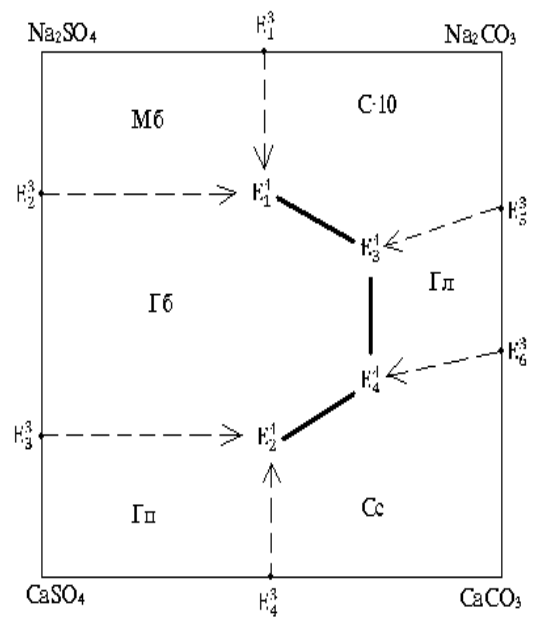
Ҷадвали 2. Транслятсияи шаклҳои геометрии зерсистемаҳо хангоми иловаи компоненти навбатӣ

Изотерма, °С	Элементҳои геометрии транслятсияшаванда	Нуқтаҳои нонвариантии ҳосилшаванда	Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
0,16	E_1^3, E_4^3 E_3^3, E_5^3 E_2^3, Γ_L	E_1^4 E_2^4 E_3^4	$M_6 + \Gamma_L + C \cdot 10$ $\Gamma_{II} + \Gamma_L + Cc$ $M_6 + \Gamma_L + \Gamma_{II}$
25,16	E_1^3, E_2^3 E_3^3, E_4^3 E_5^3, Γ_6 E_6^3, Γ_6	E_1^4 E_2^4 E_3^4 E_4^4	$M_6 + \Gamma_6 + C \cdot 10$ $\Gamma_{II} + \Gamma_6 + Cc$ $\Gamma_6 + \Gamma_L + C \cdot 10$ $\Gamma_6 + \Gamma_L + Cc$
50,16	E_1^3, E_4^3 E_2^3, E_6^3 E_3^3, E_5^3 E_7^3, Γ_6	E_1^4 E_2^4 E_3^4 E_4^4 E_5^4	$Te + Br + \Gamma_6$ $Br + C \cdot 1 + Pr$ $\Gamma_6 + \Gamma_{II} + Cc$ $\Gamma_6 + Cc + Pr$ $\Gamma_6 + Br + Pr$
75,16	E_1^3, E_3^3 E_2^3, E_6^3 E_5^3, E_8^3 E_4^3, Br $E_7^3, 5Ca \cdot Na \cdot 3$	E_1^4 E_2^4 E_3^4 E_4^4 E_5^4 E_6^4	$Te + Br + \Gamma_6$ $C \cdot 1 + Br + Pr$ $5Ca \cdot Na \cdot 3 + \Gamma_{II} + Cc$ $\Gamma_6 + Br + 5Ca \cdot Na \cdot 3$ $5Ca \cdot Na \cdot 3 + Pr + Cc$ $5Ca \cdot Na \cdot 3 + Pr + Br$
100,16	E_1^3, E_4^3 E_2^3, E_6^3 E_3^3, E_5^3 E_7^3, Γ_6	E_1^4 E_2^4 E_3^4 E_4^4 E_5^4	$Te + Br + \Gamma_6$ $Br + C \cdot 1 + Pr$ $\Gamma_6 + \Gamma_{II} + Cc$ $Pr + Cc + \Gamma_6$ $\Gamma_6 + Br + Pr$

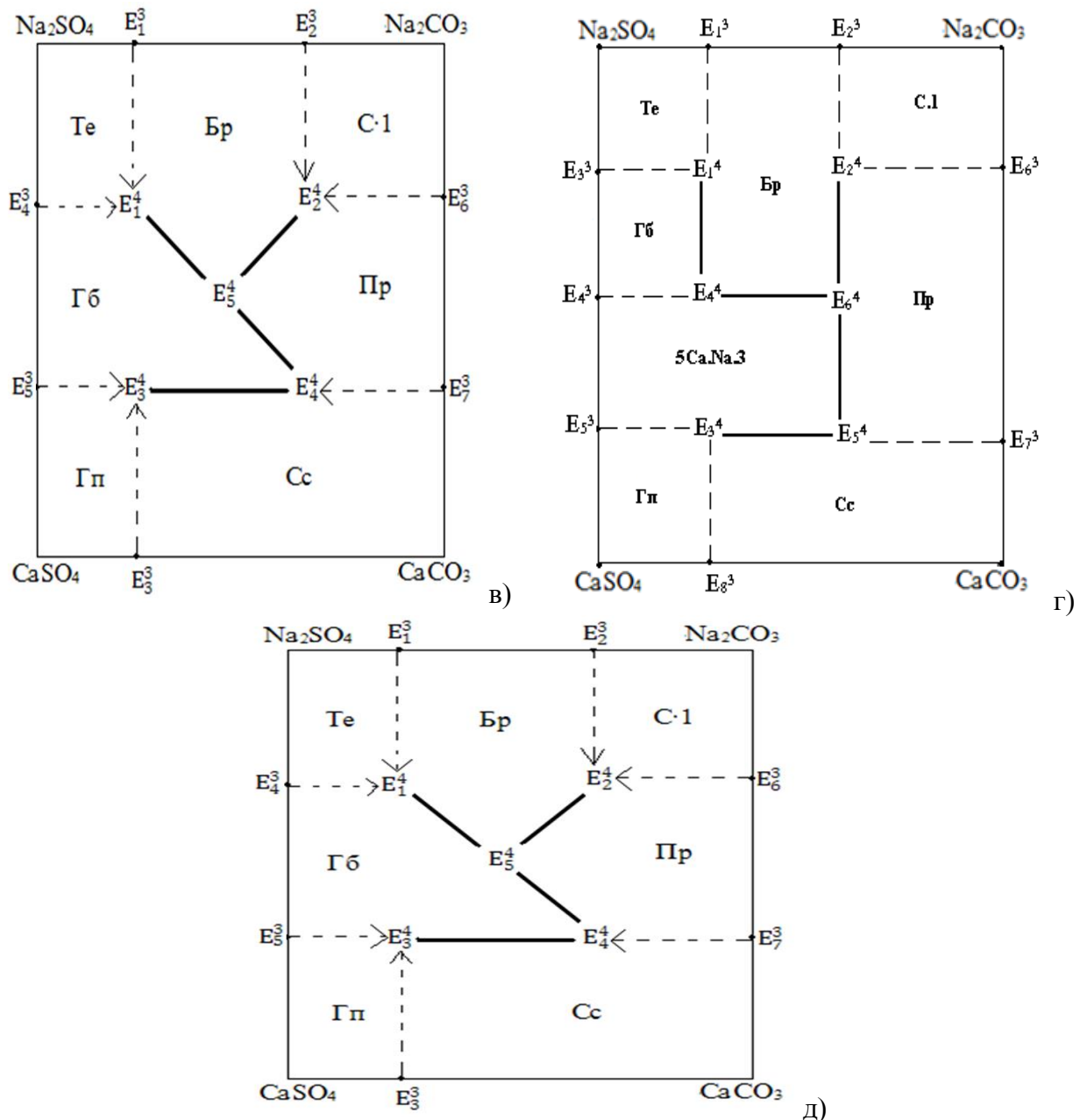
Дар асоси далелҳо диаграммаи комплекси фазавии системаи $Ca^{2+}, Na^+ || CO_3^{2-}, SO_4^{2-} - H_2O$ дар фосилаи изотермаи 25,16 °С аз 0,16 то 100,16 °С сохта шудааст (расми 2).



а)



б)



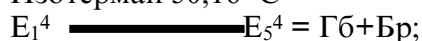
Расми 2. Диаграммаи комплекси фазагии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$:
а) 0,16 °С; б) 25,16 °С; в) 50,16 °С; г) 75,16 °С; д) 100,16 °С

Дар диаграммаи сохташуда хатҳои борики яклухт ифодаи хатҳои моновариантии сатҳи секомпонента буда, фазаҳои сахти мувозинатии ба онҳо хос дар расми 1 оварда шудааст. Хатҳои пунктирӣ ифодаи хатҳои моновариантии сатҳи чоркомпонента буда, онҳо дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи секомпонента ба сатҳи чоркомпонента ҳосил шудааст. Тирча дар ин хатҳо самти транслятсияро ифода мекунад. Фазаҳои сахти мувозинатии ин хатҳо фазаҳои сахти мувозинатии нуқтаҳои нонвариантии транслятсияшудаи сатҳи секомпонента мебошад (ҷадвали 1). Хатҳои ғафси яклухт, ки байни нуқтаҳои нонвариантии сатҳи чоркомпонента мегузаранд, низ ифодаи хатҳои моновариантии ин сатҳ мебошанд ва барои онҳо чунин фазаҳои сахти мувозинатӣ хос мебошанд:

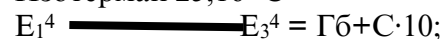
Изотермаи 0,16 °С



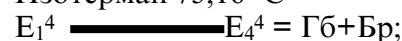
Изотермаи 50,16 °С

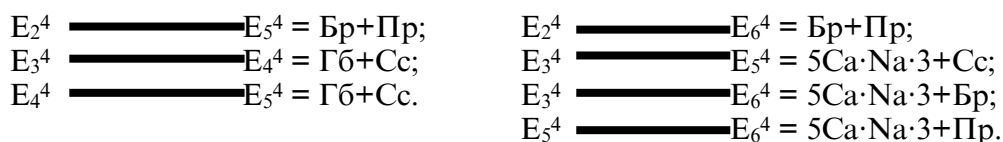


Изотермаи 25,16 °С

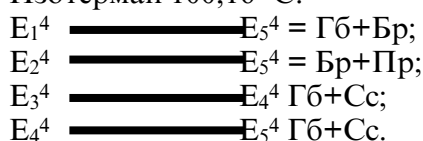


Изотермаи 75,16 °С





Изотермаи 100,16 °С:



Табдилотҳои фазагӣ, ки бо баландшавии ҳарорат аз 0,16 то 100,16 °С дар системаҳои секомпонентаи системаи чоркомпонентаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ – ро ташкилдиҳанда, ба миён меояд, дар навбати худ ба мураккабшавии диаграммаи комплекси фазагии системаи чоркомпонентаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ меоварад.

Дар асоси далелҳои бадастовардашуда, бо ёрии усули транслятсия, диаграммаи пурраи сарбастаи мувозинатҳои фазагии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+, \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}, -\text{H}_2\text{O}$ барои политермаи онҳо, сохта шудааст, ки барои он чунин миқдори элементҳои геометрии хос мебошад ва онҳоро аз ҷадвали 11 дидан мумкин мебошад.

Ҷадвали 3. Муқоисаи миқдори элементҳои геометрии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар политерма

Элементҳои геометрии	Ҳарорат, °С				
	0,16	25,16	50,16	75,16	100,16
Нуқтаҳои нонварианти	3	4	5	6	5
Хатҳои моноварианти	7	9	11	13	11
Майдонҳои диварианти	5	6	7	8	7

3. Омӯзиши эксперименталии системаи чоркомпонента

Пешгӯии мувозинатҳои фазагӣ дар системаҳои бисёркомпонента бо усули транслятсия омӯзиши эксперименталии онҳоро ҳам аз рӯи сарфи маводҳо ва аз рӯи сарфи вақт маротибаҳо сабук мегардонад. Ҳамзамон пешгӯии мувозинатҳои фазагӣ дар шаклҳои геометрии имконият медиҳад, ки шароитҳои (параметрҳои) оптималии амалӣ шудани ин мувозинатҳои фазагиро таъмин намояд, ки ин барои муайянсозии (идентификатсияи) яқоя вучуд доштани фазаҳои мувозинатӣ хеле муҳим мебошад.

Методикаи муайянсозии ҳалшавандагӣ дар нуқтаҳои нонвариантие, ки бо усули транслятсия ёфта шудаанд

Бо воситаи таҷриба муайян намудани мавқеи нуқтаҳои нонвариантии бо усули тарнслятсия ёфта шуда чанд намуд мешавад. Яке аз онҳо усули серкунонӣ мебошад. Моҳияти ин усул аз он иборат аст, ки маҳлули бо нуқтаи нонвариантии системаи n – компонента дар мувозинатбуда тадричан бо фазаи саҳти мувозинатии минбаъда, ки барои сатҳи $n+1$ компонента хас аст, серкунонида мешавад.

Усули дигар аз он иборат аст, ки конгломерати фазаҳои саҳти мувозинатии сатҳи n – компонентаро бо маҳлули серашон бо чунин конгломерати фазаҳои саҳти мувозинатии сатҳи n – компонентаи дигар, ки ба сатҳи $n+1$ компонента дар шакли хатҳои моноварианти транслятсия шуда бо ҳам вомеруранд, омехта мекунанд.

Дар ҳар ду ҳолат омехтаи ҳосилшударо дар ҳарорати додашуда аралашкунон гарм мекунанд. Аралашкунониро то ҳолати мувозинатӣ, ки дар асоси доимӣ шудани таркиби фазаи моеъ ва бе тағйир мондани фазаҳои саҳти мувозинатӣ муайян карда мешавад, давом медиҳанд. Баъд аз ба ҳолати мувозинатӣ расидани омехта, маҳлули онро таҳлили химиявӣ намуда, мавқеи (координатаи) нуқтаҳои нонвариантии сатҳи $n+1$ компонентаро дар диаграмма муайян месозанд. Дар асоси натиҷаи чунин эксперимент диаграммаи ҳолатии (ҳалшавандагии) системаи $n+1$ компонентаро месозанд.

Изотермаи ҳалшавандагии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар 0,16 °С

Қисмҳои таркибии системаи чоркомпонентаи мазкур - ин сулфат, карбонатҳои натрию калтсий мебошанд, ки онҳо дар ҳарорати 0°С дар шакли $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ - мирабилит (Мб); $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - Гипс (Гп); $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ - декагидраткарбонати натрий (С·10); CaCO_3 - калсит (Сс) ва $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ - гейлюссит (Гл)

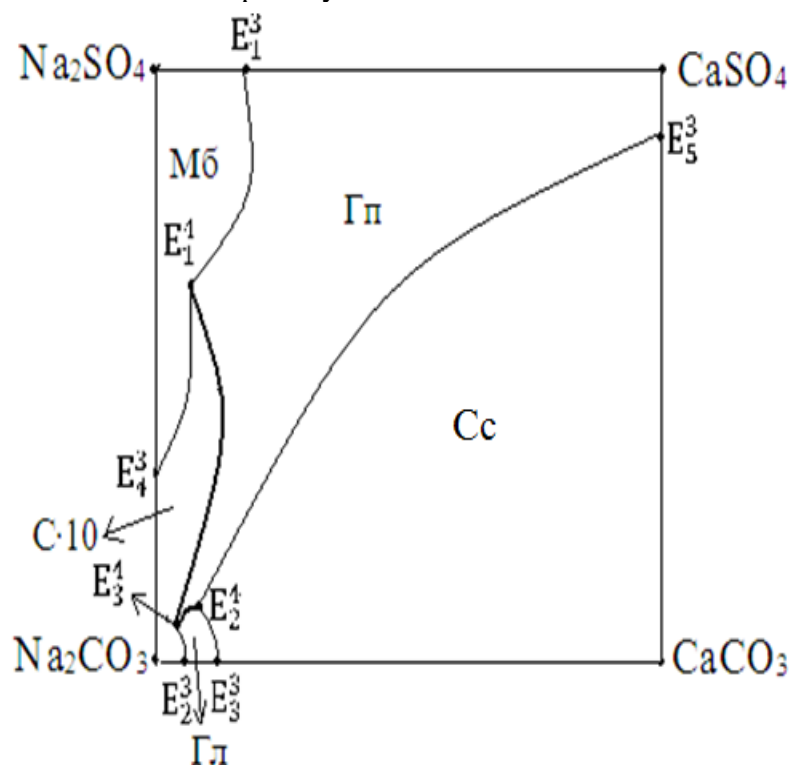
кристаллизатсия мешаванд. Барои гузаронидани таҷриба чунин реактивҳо истифода бурда шуданд: $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (аз ҷиҳати химиявӣ тоза); $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (аз ҷиҳати химиявӣ тоза); Na_2CO_3 (тоза); CaCO_3 (тоза).

Дар ҷадвали 4 маълумотҳо оиди ҳалшавандагӣ дар системаи $\text{Na, Ca} // \text{SO}_4, \text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ ҳам оварда шудаанд (ҳарорати 0°C).

Ҷадвали 4. Ҳалшавандагии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ // \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати $0,16^\circ\text{C}$

Нуқтаҳои нонварианти	Таркиби фазаҳои моеъ, мас.%					Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
	Na_2SO_4	CaSO_4	Na_2CO_3	CaCO_3	H_2O	
e_1	4.3	-	-	-	95.70	Мб
e_2	-	0,176	-	-	99,82	Гп
e_3	-	-	6,57	-	93,43	Сх10
e_4	-	-	-	0.0031	99,996	Сс
E_1^3	4.34	0.196	-	-	95.46	Мб+Гп
E_2^3	-	-	12,0	0,0048	87,99	Сх10+Гл
E_3^3	-	-	4,3	0,0048	95,69	Гл+Сс
E_4^3	2,8	-	6,01	-	91,19	Мб+ Сх10
E_5^3	-	0,20	-	0,0045	99,795	Гп+Сс
E_1^4	1,967	0,244	1,551	-	96,238	Мб+ Сх10+Гп
E_2^4	-	0,272	11,30	0,00465	88,42	Сх10+Гп+Гл
E_3^4	-	0,34	18,30	0,0125	81,347	Гп+Гл+Сс

Дар асоси далелҳои ба дастовардашуда маротибаи аввал диаграммаи ҳалшавандагии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ // \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати $0,16^\circ\text{C}$ сохта шуд, ки он дар расми 3 қисми намакӣ оварда шудааст.



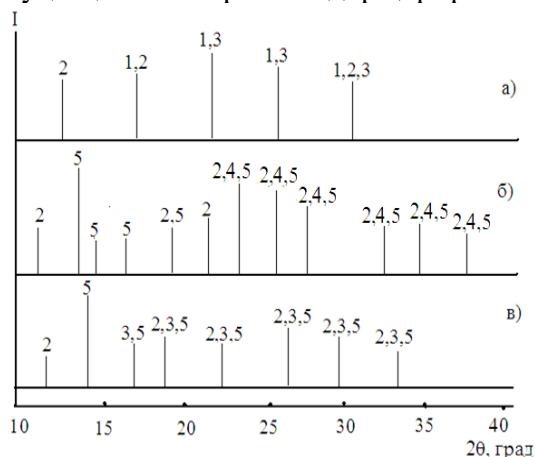
Расми 3. Диаграммаи ҳалшавандагии системаи чоркомпонентаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ // \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ барои ҳарорати $0,16^\circ\text{C}$

Чӣ тавре, ки аз диаграммаи ҳолатии расми 3 дида мешавад, майдонҳои кристаллизатсияи гипс ва калсит қисми зиёди диаграммаро ташкил медиҳанд, ки ин шаҳодати камҳалшаванда будани пайвастагиҳои номбурдаро дар шароити додашуда

ифода мекунад.

Таҳлили рентенофазагии фазаи сахти мувозинатӣ дар дифрактограммаи ДРОН – 3 гузаронида шуда (филтронӣ дар $\text{CuK}\alpha$ радиатсия бошад Ni – филтр), суръати наворгирии дифрактограмма 30 угл.с/мин. ташкил менамуд ва он дар ҳар 0.1 градус сабт шудааст.

Дар расми 15 дифрактограммаи фазаҳои алоҳидаи фазаҳои сахти мувозинатии системаи $\text{Na,Ca//SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ барои майдонҳои дивариантӣ, хатҳои моновариантӣ ва нуктаҳои нонвариантӣ дар ҳарорати 0,16 °С оварда шудааст.



Расми 4. Схемаи рентенограммаи фазаҳои сахти мувозинатии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ дар 0,16 °С:

а) Мб+Гп+С·10 (нуктаи E_1^4); б)

Гп+Гл+Сц (нуктаи E_2^4); в) Гп+С·10+Гл

(нуктаи E_3^4); 1 – Мб, 2 – Гп, 3 – С·10, 4 –

Сц, 5 – Гл

Изотермаи ҳалшавандагии системаи $\text{Na,Ca//SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ дар 25,16 °С

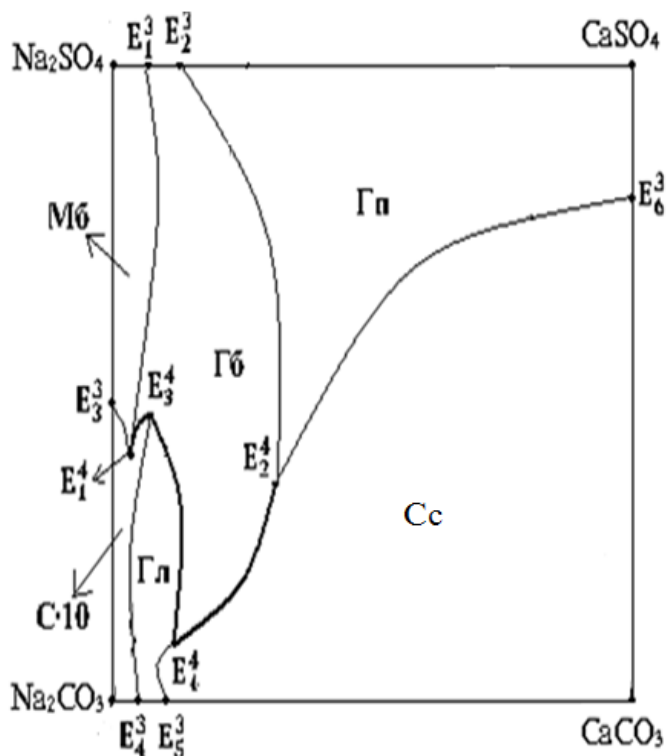
Системаи муовизаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ аз қисмҳои таркибии сулфат, карбонатҳои натрию калтсий иборат мебошанд, ки онҳо дар ҳарорати 25°С дар шакли $\text{Na}_2\text{SO}_4\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ - мирабилит (Мб); $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - Гипс (Гп); $\text{Na}_2\text{SO}_4\cdot \text{CaSO}_4$ - глауберит (Гб); $\text{Na}_2\text{CO}_3\cdot \text{CaCO}_3\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ - гейлюссит (Гл); CaCO_3 - калсит (Сс); $\text{Na}_2\text{CO}_3\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ - С·10 кристаллизатсия мешаванд. Дар амалисозии таҷриба реактивҳои зерин истифода шуданд: $\text{Na}_2\text{SO}_4\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (аз ҷиҳати химиявӣ тоза); $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (аз ҷиҳати химиявӣ тоза); Na_2CO_3 (тоза); CaCO_3 (тоза).

Дар ҷадвали 5 маълумотҳои ҳалшавандагӣ дар системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ оварда шудаанд.

Ҷадвали 5. Ҳалшавандагии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 25,16 °С

Нукта	Таркиби фазаҳои моёъ, мас.%					Фазаҳои сахти мувозинатӣ
	Na_2SO_4	CaSO_4	Na_2CO_3	CaCO_3	H_2O	
e_1	21,9	-	-	-	78,1	Мб
e_2	-	0,209	-	-	99,791	Гп
e_3	-	-	22,95	-	77,05	С·10
e_4	-	-	-	0,0048	99,9952	Сс
E_1^3	21,75	0,197	-	-	78,05	Мб+Гб
E_2^3	25,78	0,188	-	-	74,032	Гп+Гб
E_3^3	16,40	-	18,40	-	65,30	Мб+С·10
E_4^3	-	-	5,649	0,00349	94,347	С·10+Гл
E_5^3	-	-	4,5	0,0024	95,497	Гл+Сс
E_6^3	-	0,213	-	0,0048	99,782	Гп+Сс
E_1^4	14,2	0,273	19,6	-	65,927	Мб+С·10+Гб
E_2^4	-	0,408	18,55	0,00547	80,987	Гп+Гб+Сс
E_3^4	12,52	-	19,45	0,00521	64,977	С·10+Гл+Гб
E_4^4	-	0,328	20,7	0,00431	78,928	Сс+Гб+Гл

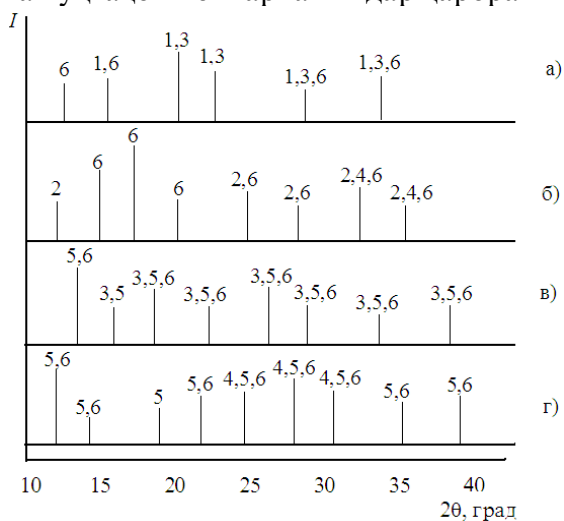
Дар асоси далелҳои ба дастовардашуда маротибаи аввал диаграммаи ҳалшавандагии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати $25,16^\circ\text{C}$ сохта шуд, ки он дар расми 17 (а) қисми оби намакӣ, б) қисми намакӣ оварда шудааст.



Расми 5. Қисми намакии диаграммаи ҳалшавандагии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ барои ҳарорати $25,16^\circ\text{C}$

Таҳлили рентенофазагии фазаи саҳти мувозинатӣ дар дифрактограммаи ДРОН – 3 гузаронида шуд (филтронӣ дар $\text{CuK}\alpha$ радиатсия бошад Ni – филтър). Суръати наворгирии дифрактограмма 30 угл.с/мин. ташкил менамуд. Дифрактограмма дар ҳар 0.1 градус сабт шудааст. Масофаи байнихамвориҳо (d_{hkl}) ба кунҷҳои инъикоси (θ) мувофиқат менамояд.

Дар расми 6 дифрактограммаи фазаҳои алоҳидаи фазаҳои саҳти мувозинатии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ барои майдонҳои дивариантӣ, хатҳои моновариантӣ ва нуқтаҳои нонвариантӣ дар ҳарорати $25,16^\circ\text{C}$ оварда шудааст.



Расми 6. Схемаи рентенограммаи фазаҳои саҳти мувозинатии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ дар $25,16^\circ\text{C}$: а) $\text{Мб}+\text{Гб}+\text{С}\cdot 10$ (нуқтаи E_1^4); б) $\text{Гп}+\text{Гб}+\text{Сс}$ (нуқтаи E_2^4); в) $\text{С}\cdot 10+\text{Гб}+\text{Гл}$ (нуқтаи E_3^4); г) $\text{Сс}+\text{Гб}+\text{Гл}$ (нуқтаи E_4^4); 1 – Мб, 2 – Гп, 3 – С·10, 4 – Сс, 5 – Гл, 6 – Гб.

Изотермаи ҳалшавандагии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ дар $50,16^\circ\text{C}$

Қисмҳои таркибии системаи чоркомпонентаи мазкур - ин сулфат, карбонатҳои натрию калсий мебошанд, ки онҳо дар ҳарорати 50,16 °С дар шакли CaCO_3 – калсит (Сс), $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – С-1, гейлюссит – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Гл), тенардит – Na_2SO_4 (Те), глауберит – $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$ (Гб), беркеит – $2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$ (Бр), пирсонит – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Пр) ва гипс – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Гп) кристаллизатсия мешаванд [88-90]. Барои гузаронидани таҷриба чунин реактивҳо истифода бурда шуданд: $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (аз ҷиҳати химиявӣ тоза); $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (аз ҷиҳати химиявӣ тоза); Na_2CO_3 (тоза); CaCO_3 (тоза).

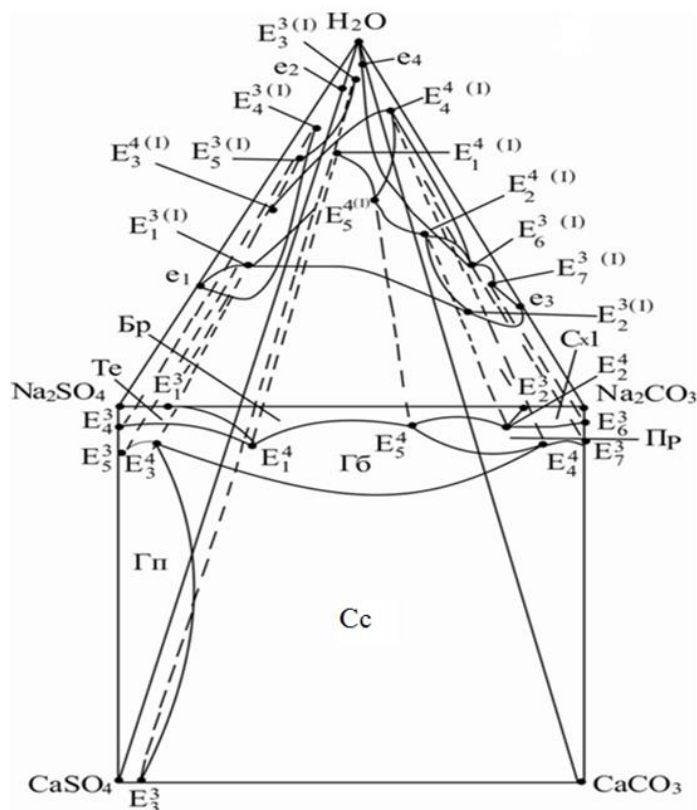
Таҷрибаро аз рӯи нақшаи зерин гузаронидем: маҳлулҳои сери системаҳои $\text{Ca}^{2+}-\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$; $\text{Ca}^{2+}-\text{Na}^+-\text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}^+-\text{CO}_3^{2-}-\text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ ва $\text{Ca}^{2+}-\text{CO}_3^{2-}-\text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ - ро бо таҳшинҳояшон, мутобиқ ба схемаи транслятсия якҷоя карда, дар ҳарорати 50,16 °С дар термостат омезиш додем. Омезишро бо ёрии омехтакунаки магнитӣ дар муддати 50-100 соат то ба мувозинат омадани система давом додем. Ҳароратро бо ёрии термометри контактӣ назорат кардем.

Дар ҷадвали 6 маълумотҳо оиди ҳалшавандагӣ дар системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ ҷамъ оварда шудаанд (ҳарорати 50,16 °С).

Ҷадвали 6. Ҳалшавандагии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 50,16 °С

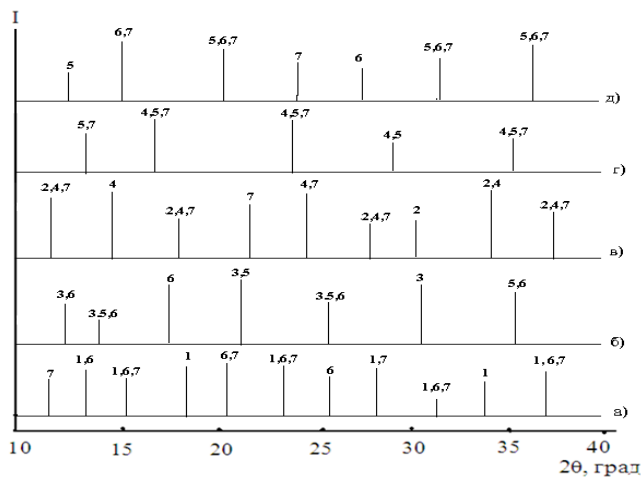
Нуктаҳои нонварианти	Таркиби фазаҳои моеъ, мас.%					Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
	Na_2SO_4	CaSO_4	Na_2CO_3	CaCO_3	H_2O	
e_1	31.8	–	–	–	68.2	Те
e_2	–	0.210	–	–	99.79	Гп
e_3	–	–	32.1	–	67.9	Сх1
e_4	–	–	–	0.0054	99.9946	Сс
E_1^3	22.47	–	10.52	–	67.01	Те+Бр
E_2^3	5.87	–	28.52	–	65.61	Бр+Сх1
E_3^3	–	0.107	–	0.0042	99.888	Гп+Сс
E_4^3	3.30	0.166	–	–	96.534	Те+Гб
E_5^3	3.88	0.274	–	–	95.846	Гб+Гп
E_6^3	–	–	24.78	0.0039	75.216	Сх1+Пр
E_7^3	–	–	20.93	0.0041	79.065	Пр+Сс
E_1^4	1.521	0.148	3.743	–	94.588	Те+Бр+Гб
E_2^4	3.719	–	13.98	0.00375	82.297	Сх1+Бр+Пр
E_3^4	8.923	0.162	–	0.0047	90.910	Гп+Сс+Гб
E_4^4	–	0.136	2.77	0.0046	97.089	Сс+Пр+Гб
E_5^4	6.17	–	9.01	0.0063	84.813	Гб+Бр+Пр

Дар асоси далелҳои ба дастовардашуда маротибаи аввал диаграммаи ҳалшавандагии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 50,16 °С сохта шуд, ки он дар расми 7 қисми оби-намакӣ, оварда шудааст.



Расми 7. Қисми обӣ-намакии диаграммаи ҳалшавандагии системаи чоркомпонентаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ барои ҳарорати 50,16 °C

Дар расми 8 дифрактограммаи фазаҳои алоҳидаи фазаҳои саҳти мувозинатии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ барои майдонҳои дивариантӣ, хатҳои моновариантӣ ва нуқтаҳои нонвариантӣ дар ҳарорати 50°C оварда шудааст ва таҳлили муқоисавии онҳо дар ҳароратҳои 0,16, 25,16 ва 50,16 °C муайян карда шудааст.



Te+Бр+Гб (нуқтаи E_1^4); б) Бр+Сх1+Пр (нуқтаи E_2^4); в) Гб+Гп+Сс (нуқтаи E_3^4); г) Пр+Сс+Гб (нуқтаи E_4^4); д) Пр+Бр+Гб (нуқтаи E_5^4). 1 – Те, 2 – Гп, 3 – Сх1, 4 – Сс, 5 – Пр, 6 – Бр, 7 – Гб

Расми 8. Схекаи рентгенограммаи фазаҳои саҳти мувозинатии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар 50,16 °C

Изотермаи ҳалшавандагии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар 75,16 °C

Қисмҳои таркибии системаи чоркомпонентаи мазкур - ин сулфат, карбонатҳои натрий калсий мебошанд, ки онҳо дар ҳарорати 75°C дар шакли CaCO_3 – калсит (Сс), $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – Сх1, гейлюссит – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Гл),

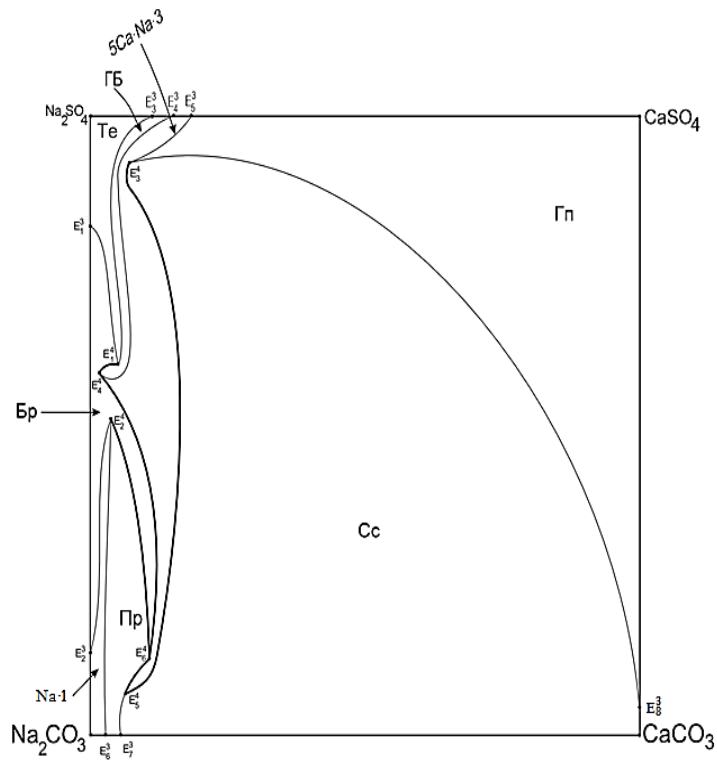
тенардит – Na_2SO_4 (Те), глауберит – $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$ (Гб), беркеит – $2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$ (Бр), пирсонит – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Пр), гипс – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Гп) ва $5\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ - $5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3$ кристаллизатсия мешаванд. Барои гузаронидани таҷриба чунин реактивҳо истифода бурда шуданд: $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (аз ҷихати химиявӣ тоза); $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (аз ҷихати химиявӣ тоза); Na_2CO_3 (тоза); CaCO_3 (тоза).

Дар ҷадвали 8 маълумотҳо оиди ҳалшавандагӣ дар системаи $\text{Na, Ca} // \text{SO}_4, \text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ ҷамъ оварда шудаанд (харорати 75°C).

Ҷадвали 8. Ҳалшавандагии системаи $\text{Na, Ca} // \text{SO}_4, \text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 75°C

№ нукта	Таркиби фазаи моеъ, мас.%					Фазаи саҳти мувозинатӣ
	Na_2SO_4	CaSO_4	Na_2CO_3	CaCO_3	H_2O	
e ₁	30,35	–	–	–	69,65	Те
e ₂	–	–	31,2	–	68,8	Na·1
e ₃	–	0,481	–	–	99,509	Гп
e ₄	–	–	–	0,0056	99,994	Сс
E ₁ ³	25,0	–	6,40	–	68,6	Те+Бр
E ₂ ³	3,80	–	28,9	–	67,3	Бр+Na·1
E ₃ ³	4,60	0,522	–	–	94,878	Те+Гб
E ₄ ³	5,84	0,888	–	–	93,272	Гб+5Ca·Na·3
E ₅ ³	4,34	0,884	–	–	95,376	5Ca·Na·3+Гп
E ₆ ³	–	–	21,75	0,0065	78,2435	Na·1+Пр
E ₇ ³	–	–	24,8	0,0078	75,1922	Пр+Сс
E ₈ ³	–	0,692	–	0,0063	81,7837	Гп+Сс
E ₁ ⁴	24,38	0,911	20,29	–	54,419	Те+Гб+ Бр
E ₂ ⁴	28,42	–	30,14	0,0058	41,4342	Na·1+Бр+Пр
E ₃ ⁴	15,19	0,824	–	0,0067	83,9793	5Ca·Na·3+Гп+Сс
E ₄ ⁴	16,98	0,783	21,18	–	61,057	Гб+Бр+5Ca·Na·3
E ₅ ⁴	–	0,544	33,72	0,0091	65,72	5Ca·Na·3+Сс+Пр
E ₆ ⁴	–	0,646	21,16	0,0053	78,1887	Бр+Пр+5Ca·Na·3

Дар асоси далелҳои ба дастовардашуда маротибаи аввал диаграммаи ҳалшавандагии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ // \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати $75,16^\circ\text{C}$ сохта шуд, ки он дар расми 23 (а) қисми оби-намакӣ, б) қисми намакӣ) оварда шудааст.



Расми 9. Диаграммаи қисми намакии ҳалшавандагӣ дар системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ барои ҳарорати $75,16^\circ\text{C}$

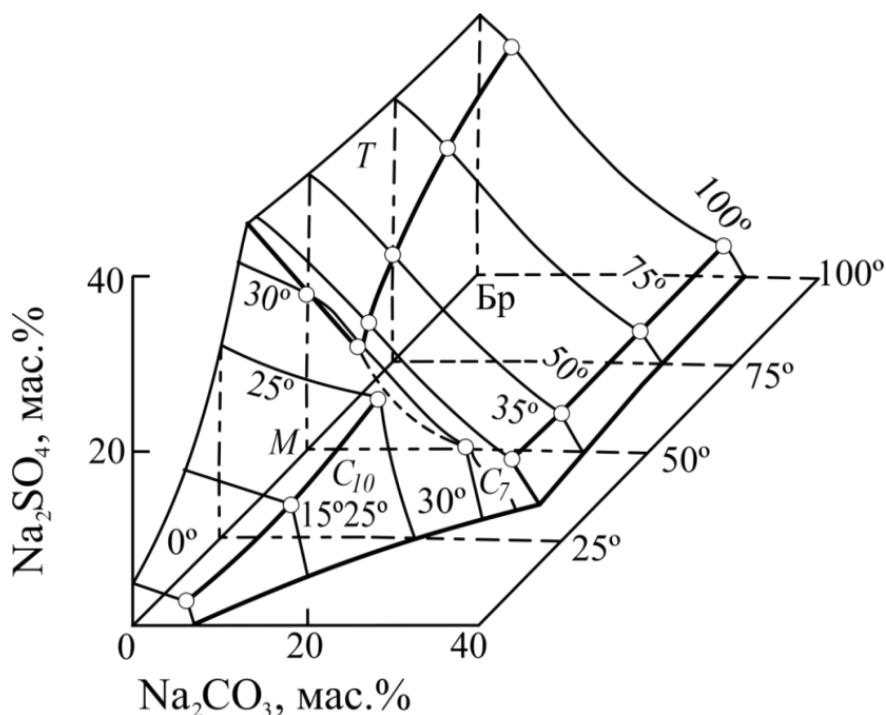
4. Тасвири таранслятсияи изотермаҳо ва политермаи ҳалшавандагии системаи химиявӣ

Дар ин бахш усули транслятсия дар ҳар ҳолат обӣ-намакӣ будани системаҳои химиявӣ истифода шудааст. Сараввал аз рӯи маълумотҳои ҳалшавандагӣ дар системаҳои n - компонента изотермаҳои ҳалшавандагии системаи $n + 1$ компонента (транслятсия ба самти компоненти нав) сохта мешуданд, сипас дар самти ҳарорат (параметри нав) аз рӯи изотермаи системаи $n + 1$ компонента, политермаи он сохта мешуд. Бо истифода аз политермаи системаи $n+1$ компонента, бо “тарнслятсияи баргарданда” политермаҳои ҳалшавандагии системаҳои ду ва секомпонентаро муайян менамуданд (транслятсия ба самти адади компонентнокӣ 3 ва 2). Бартари ин усул дар он аст, ки он имкон медиҳад якбора бе истифода аз политермаи системаҳои муваққати ду ва секомпонента политермаи системаи чоркомпонентаро созем. Таҳқиқкунанда, ҳангоми истифодаи усули зерин бе соختани миқдори зиёди политермаҳои ҳалшавандагии системаҳои n - компонента метавонанд, политермаи системаи бисёркомпонентаи лозимаро омӯзанд.

Дар бахшҳои аввала мо комплекси фазагӣ ва ҳалшавандагии системаи чоркомпонентаи муовиза, ки аз сулфатҳо, карбонатҳои натрию калсий таркиб ёфтааст барои изотермаҳои $0-100,16^\circ\text{C}$ омӯхтем ва ҳамзамон диаграммаи комплекси фазагӣ ва ҳалшавандагиашонро сохтем. Боби мазкур бошад, таҳқиқи политермаи системаи номбурдаро дар бар гирифта, дар он хатҳои гуногуни системаи мазкур омӯхта шуда, диаграммаи политермиашон сохта шудааст.

Политермаи системаи секомпонентаи $\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$

Дар асоси маълумотҳои ҳалшавандагии системаи $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ диаграммаи политермии он дар диапазонҳои ҳароратҳои $0,16-100,16^\circ\text{C}$ сохта шудааст, ки он дар расми 10 оварда шудааст.



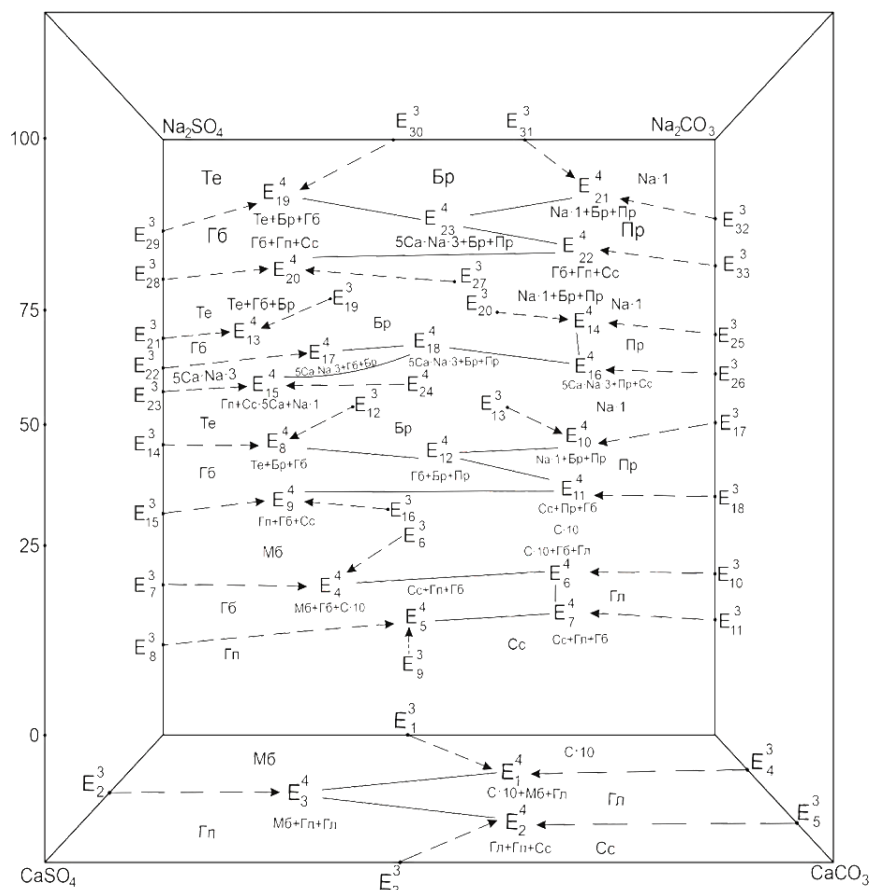
Расми 10. Даграммаи политермии системаи $\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$

Дар диаграмма самтҳои буришҳо нишон дода шудаанд. Диаграммаи ҳалшавандагӣ аз шаш майдонҳои кристаллизатсия иборат аст, ки онҳо мирабилит, декагидрат карбонати натрий, моногидрат карбонати натрий, гептагидрат карбонати натрий, тенардит, беркеит мебошанд. Чӣ тавре ки аз диаграмма дида мешавад, дар система дар баробари ҳосилшавии фазаҳои нав боз раванди дегидрататсияи мирабилит то тенардит ва декагидрати карбонати натрий то моногидрат ба назар мерасад.

Нуқтаҳои нонвариантии сатҳи чоркомпонента дар политермаи системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар фосилаи ҳароратҳои аз 0,16 то 100,16 °C

Ҳалшавандагӣ дар системаи чоркомпонентаи муовизаи сарбасти обии $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaSO}_4 \leftrightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3$ дар диапазони васеи ҳароратҳои 0,16-100,16 °C омӯхта шудааст. Дар фосилаи ҳароратҳои додашуда тенардит дар система ҳамчун қисми таркибии як қатор намакҳои дучандаи натрий-калтсийгӣ, омехтаи сульфат-карбонатӣ ва кристаллогидрат ҳосил мешавад: Мб – мирабилит – $(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$; Бр – беркеит – $2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$; Гб - глауберит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$; $5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3$ - $5\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; С·10 – декагидрати карбонати натрий – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$; С·1 – моногидрати карбонати натрий – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$; Гл - гейлюссит $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Натиҷаи сохтани проексияи политермаи системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ имкон дод, ки дар дилхоҳ қирраи призма ҷамъшавии нуқтаҳои нонвариантии кристаллизатсияи фазаҳо ва ҳосилшавии онҳоро муайян намоем. Усули проексияи оптималии ҳар як ҳаҷм дар алоҳидагӣ имкон пайдо менамояд, ки схемаи ҳароратҳои нуқтаҳои нонвариантиро муайян намуда, дар ҳароратҳои аниқ таркиби маҳлулро ифода намоем. Дар расми 26 диаграммаи политермии системаи $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3 \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaSO}_4$ дар диапазони ҳароратҳои 0,16-100,16 °C оварда шудааст.



Расми 11. Политермаи комплекси фазагии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$

Ҳангоми муайян кардани таркиби моеъ дар нуқтаҳои нонвариантии дар диаграмма ишорашуда, мо маҳлулоеро асос гирифтаем, ки ба сершавии фазаҳои саҳт ҷавобгӯӣ буданд. Маҳлулҳои мувозинатӣ бо фазаҳои саҳт дар ҳарорати 75°C омада шуда, сипас то $50,16^\circ\text{C}$ хунук карда шудаанд, баъд аз $50,16^\circ\text{C}$ муайян намудани ҳарорати маҳлул муқаррар гардид, ки дар он фазаи $5\text{Ca}\cdot\text{Na}\cdot 3$ ба назар намерасад. Чунин тағйироти фазаҳои барои Бр, Пр, Те, $\text{C}\cdot 10$ низ ба назар мерасад. Аз диаграмма дида мешавад, ки ҳаҷми кристаллизатсияи гипс ва калсит дар системаи чоркомпонента фосилаи ҳароратҳои $0,16-100,16^\circ\text{C}$ -ро дар бар мегирад. Тенардит дар ҳароратҳои $100,16-28,716^\circ\text{C}$ вучуд дошта, зимни хунукшави аз ҳароратҳои нишондодашуда он ба мирабилит мубадал мегардад. Майдони глауберит дар системаи секомпонентаи $\text{Ca}^{2+}-\text{Na}^{+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ оғоз ёфтаон дар изотермаи $25,16^\circ\text{C}$ пайдо мешавад ва то $100,16^\circ\text{C}$ вучуд дошта мешавад.

ХУЛОСАҲОИ УМУМӢ

1. Таҳлили адаётҳои мавҷуда нишон дод, ки системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳароратҳои $0,16-100,16^\circ\text{C}$ қисман омукта шуда, вале диаграммаи комплекси фазагии он сохта нашудааст.
2. Дар асоси далелҳои мавҷуда маротибаи аввал диаграммаҳои ҳалшавандагии системаҳои секомпонентаи: $\text{Ca}^{2+}-\text{Na}^{+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$; $\text{Ca}^{2+}-\text{Na}^{+}-\text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}^{+}-\text{CO}_3^{2-}-\text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ ва $\text{Ca}^{2+}-\text{CO}_3^{2-}-\text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$, ки системаи чоркомпонентаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ - ро ташкил медиҳанд барои ҳароратҳои $0,16-100,16^\circ\text{C}$ сохта шудааст.
3. Диаграммаи политермии системаи иборат аз сулфат, карбонатҳои натрийю об дар асоси ҳалшавандагиашон сохта шуда, кристаллизатсияи фазаҳои алоҳидаи он муайян карда шудааст ва политермаи комплекси фазагии системаи

$\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ бо усули траслятия омӯхта шуда, маротибаи аввал диаграммаҳои сарбастаи комплекси фазагии он барои ин ҳароратҳо сохта шудааст.

4. Таҳлили муқоисавии сохтори диаграммаҳои комплекси фазагии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар политерма амалӣ гардида, муайян карда шудааст, ки ҳангоми бо ҳам таъсир намудани фазаҳои саҳти мувозинатии мирабилит бо гипс - фазаи нави глауберит ва тенардит бо моногидрат - беркеит ҳосил мешавад, ки он сохтори диаграммаи комплекси фазагии системаро мураккаб менамояд.
5. Маротибаи аввал ҳалшавандагии системаи химиявии муовизаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳароратҳои 0,16, 25,16, 50,16 ва 75,16 °C омӯхта шуда, диаграммаи ҳалшавандагии он, барои ин ҳароратҳо сохта шудааст, ҳамзамон координатаҳои шаклҳои геометрии система дар изотермаҳои додашуда муқаррар гардидааст.

Тавсияҳо оиди истифодаи амалии натиҷаҳои тадқиқот

Натиҷаҳои муҳимтарини ноилгашта, зимни иҷрои рисолаи илмӣ-тадқиқотии PhD дар раванди таълим дар тадриси фанни «Асосҳои таҳлили физико-химиявӣ» барои магистрон ва ҳамчун курси махсус барои бакалаврҳои ихтисоси химияи ДДОТ ба номи С.Айнӣ, инчунин дар пешгӯӣ намудани мувозинатҳои фазагии системаҳои панҷ-шашкомпонентаи ин системаро дошта ва сохтани диаграммаҳои комплекси фазагии (мувозинатҳои фазагии) онҳо истифода шуда истодааст. Ҳамзамон натиҷаҳои ноилгардидаи назариявӣ ва амалӣ (таҷрибавӣ) метавонад ҳамчун маводи маълумотномавӣ дар омӯзиши системаҳои химиявии компонентнокиашон зиёд, инчунин ҳамчун асоси илмӣ коркарди ашёи табиӣ полиминералӣ ва техникаи мураккаби аз карбонатҳо, сульфатҳои калтсийю натрий ташкилёфта истифода шавад.

Рӯйхати маводҳои нашршуда оиди кори диссертатсионӣ

Нахустпатент:

[1-М]. **Махмадов, Х.Р.** Способ получения декагидрата карбоната натрия из жидких отходов алюминиевого производства. / М.Т.Жумаев, И.М.Низомов, **Х.Р.Махмадов**, Н.В.Олимджонова, Д.В.Музафарова. Малый патент РТ. № ТЈ 3141. Душанбе, 30.01.2023г.

Мақолаҳои илмӣ маҷаллаҳои тақризшаванда:

[1-М]. **Махмадов, Х.Р.** Растворимость системы $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{NaHCO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ при 50 °C / Л. Солиев, М.Т. Джумаев, Р.О. Тураев, **Х.Р. Махмадов** // Химический журнал Казахстана. 2017. № 4 (60). -С.29-35.

[2-М]. **Makhmadov, H.R.** Structure of the solubility diagram in the $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{NaHCO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ system at 0, 25 and 50 °C / L. Soliev, M.T. Jumaev, R.O. Turaev, **H.R. Makhmadov**, B.B. Dzabborov // *Chimica Techno Acta*. 2018. Vol. 5 № 2. PP.104-108.

[3-М]. **Makhmadov, H.R.** Solubility in the system $\text{Na}, \text{Ca} \parallel \text{SO}_4, \text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ at 50 °C / L. Soliev, M.T. Jumaev, **H.R. Makhmadov** // *Russian Journal of Inorganic Chemistry*. 2019. Vol.64. № 2. -PP.270-276.

[4-М]. **Makhmadov, Kh.R.** Solubility in the $\text{Na}, \text{Ca} \parallel \text{SO}_4, \text{HCO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ system at 25 °C / L. Soliev, M.T. Jumaev, A.M. Varkaeva, **Kh.R. Makhmadov**, G. Sinoi // *Chimica Techno Acta*. 2019. Vol.6. №4. -PP.130-137.

[5-М]. **Махмадов, Х.Р.** Таҳлили муқоисавии сохтори комплекси фазагии системаи $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{NaHCO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳароратҳои 75 ва 100 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Р.О. Тураев, **Х.Р. Махмадов**, Н.В. Олимҷонова // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон: Бахши илмҳои табиӣ. 2019. № 2. С.179-184.

- [6-М]. **Махмадов, Х.Р.** Фазовый комплекс взаимной системы $\text{Na,Ca}||\text{SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ при 75 и 100 °С / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, **Х.Р. Махмадов**, Д.З. Музафарова, Н.В. Олимджонова // Доклады АН РТ. 2020. Т.63. №9-10. С.618-625.
- [7-М]. **Махмадов, Х.Р.** Тахлили мукоисавии диаграммаи ҳалшавандагии системаи $\text{Na,Ca}||\text{SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ дар ҳароратҳои 0, 25 ва 50 °С / **Л. Солиев**, М.Т. Жумаев, **Х.Р. Махмадов**, Д.З. Музафарова, Н.В. Олимҷонова // Паёми Донишгоҳи омузгорӣ: (Бахши илмҳои табиатшиносӣ). 2021. №1(10-11). С.253-257.
- [8-М]. **Махмадов, Х.Р.** Растворимость системы $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ при 75 °С / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, О.Р. Тураев, Н.В. Олимджонова, **Х.Р. Махмадов** // Известия НАНТ. 2021. №1(182). С.82-89.
- [9-М]. **Махмадов, Х.Р.** Комплекси фазагии системаи иборат аз сульфатҳо, карбонатҳои натрию калтсий ва об дар муқоиса ба ҳароратҳои 25, 50 ва 75 °С / **Х.Р. Махмадов** // Паёми Донишгоҳи технологияи Тоҷикистон. 2022. № 2(49). С.43-50.
- [10-М]. **Makhmadov, H.R.** Formatijn of invariant equilibria in multicomponent systems and determination of solid phase crystallization pathway / L. Soliev, M.T. Jumaev, I.M. Nizomov, **H.R. Makhmadov**, N.V. Olimdzonova, D.V. Muzafarova // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2022. № 3-4. PP.35-43.
- [11-М]. **Махмадов, Х.Р.** Изотермаи ҳалшавандагии системаи $\text{Na,Ca}||\text{SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ дар 50 °С / М.Т. Жумаев, **Л. Солиев**, **Х.Р. Махмадов**, Д.З. Музафарова // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон: Бахши илмҳои табиатшиносӣ. 2022. №3. С.248-257.
- Фишурдаи маърузаҳо дар конференсияҳои байналхалқӣ ва ҷумҳуриявӣ**
- [1-М]. **Махмадов, Х.Р.** Диаграммаи ҳалшавандагии системаи $\text{Na,Ca}||\text{SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 0 °С / **Х.Р. Махмадов**, Л. Солиев, М.Т.Жумаев // Маводи конференсияи ҷумҳуриявӣ илмӣ-амалӣ дар мавзӯи «Дурнамои инкишофи саноати кимиёи Тоҷикистон». Душанбе. 2017. С.69-71.
- [2-М]. **Махмадов, Х.Р.** Концентрационные параметры образования равновесных твёрдых фаз системы $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ при 50 °С / Л. Солиев, М.Т. Джумаев, Р.О. Тураев, **Х.Р. Махмадов** // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «III Байкальский материаловедческий форум». Улан-Удэ. 2018. С.116-117.
- [3-М]. **Махмадов, Х.Р.** Фазовые равновесия в четырёхкомпонентной системе $\text{Na,Ca}||\text{SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ при 75 °С / Л. Солиев, М.Б. Усмонов, М.Т. Жумаев, **Х.Р. Махмадов** // Материалы IV международной научной конференции «Вопросы физической и координационной химии». Душанбе. 2019. С.359-364.
- [4-М]. **Махмадов, Х.Р.** Растворимость системы $\text{Na,Ca}||\text{SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ при 50 °С / М.Т. Жумаев, Л. Солиев, **Х.Р. Махмадов**, М.Б. Усмонов // XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. 2019. Санкт-Петербург. С.146.
- [5-М]. **Махмадов, Х.Р.** Строение диаграммы фазового комплекса системы $\text{Na,Ca}||\text{CO}_3,\text{HCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ при 50 °С / Л. Солиев, М.Т. Джумаев, Н.З. Ноибова, **Х.Р. Махмадов** // Сборник статей республиканской научно-теоретической конференции на тему «Основы развития и перспективы химической науки в Республике Таджикистан» 2020. Душанбе. С. 56-58.
- [6-М]. **Махмадов, Х.Р.** Строение диаграммы фазового комплекса системы $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ при 75 и 100 °С / М.Т. Жумаев, Л. Солиев, Н.В. Олимджонова, Д.З. Музафарова, **Х.Р. Махмадов** // Материалы IV Всероссийская молодежная научная конференция с международным участием «Экологобезопасные и ресурсосберегающие технологии и материалы». 2020. Улан-Уде. С.69-71.

- [7-М]. **Махмадов, Х.Р.** Равновесные твёрдые фазы четверных невариантных точек системы $\text{Na,Ca||SO}_4,\text{CO}_3,\text{HCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ при $0\text{ }^\circ\text{C}$ / М.Т. Жумаев, Л. Солиев, **Х.Р. Махмадов**, Н.В. Олимджонова // Сборник трудов Всероссийский симпозиум и школа-конференция молодых ученых «Физико-химические методы в междисциплинарных экологических исследованиях». 2021. Севастополь. С.262-263.
- [8-М]. **Махмадов, Х.Р.** Комплекси фазагии системаи $\text{Na,Ca||SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ дар хароратҳои 75 ва $100\text{ }^\circ\text{C}$ / Л. Солиев, **Х.Р. Махмадов**, М.Т. Жумаев, Д.З. Музафарова, Н.В. Олимҷонова // Маводи конференсияи байналмилалӣ илмию амалӣ дар мавзӯи «Проблемаҳои муосири саноати металлургӣ» 2021. Душанбе. С.160-163.
- [9-М]. **Махмадов, Х.Р.** Фазовые равновесия и растворимость в системе $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ при $75\text{ }^\circ\text{C}$ / Н.В. Олимджонова, Л. Солиев, М.Т. Жумаев, **Х.Р. Махмадов** // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «IV Байкальский материаловедческий форум». 2022. Улан-Удэ. С.125-126.
- [10-М]. **Махмадов, Х.Р.** Политермаи системаи $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ / **Х.Р. Махмадов** // Маводи конференсияи ҷумҳуриявӣ илмӣ-амалӣ дар мавзӯи «Вазъи кунунӣ ва дурнамояи таҳлили физико-химиявӣ». 2023. Душанбе. С.79-82.
- [11-М]. **Махмадов, Х.Р.** Муқоисаи ҳалшавандагӣ дар нуқтаҳои невариантии системаи $\text{Na,Ca||SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ барои диапазонаи $0\text{-}50\text{ }^\circ\text{C}$ / **Х.Р. Махмадов** // Маводи конференсияи байналхалқӣ дар мавзӯи «Рушди илмҳои химия, технология ва экология». 2023. Душанбе. С. 124-126.

ТАДЖИКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. САДРИДДИНА АЙНИ

На правах рукописи

УДК: 546.224+546.264+546.33

ББК: 24.1+24.121

М-44

МАХМАДОВ Хафизулло Рахматуллоевич

**ПОЛИТЕРМА РАСТВОРИМОСТИ И ФАЗОВОГО
КОМПЛЕКСА ВОДНО-СОЛЕВОЙ СИСТЕМЫ СУЛЬФАТЫ,
КАРБОНАТЫ НАТРИЯ И КАЛЬЦИЯ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
доктор философии (PhD) по специальности 6D060600 – химия,
(6D060601 – неорганическая химия)

ДУШАНБЕ - 2023

Диссертация была выполнена на кафедре “Общая и неорганическая химия” Таджикского государственного университета им. Садриддина Айни

- Научный консультант:** **Солиев Лутфулло**,
заслуженный деятель науки и техники
Таджикистана, доктор химических наук,
профессор
- Научный руководитель:** **Жумаев Маъруфжон Тағоймуротович**,
кандидат химических наук, доцент
- Официальные оппоненты:** **Бадалов Абулхайр**,
доктор химических наук, профессор, член-
корреспондент Национальной академии
наук Таджикистана, профессор кафедры
“Общая и неорганическая химия”
Таджикского технического университета
имени академика М.Осими
Охунова Умеда Рахматджоновна,
кандидат химических наук, доцент
кафедры общей химии и методики её
преподавания Худжанского
государственного университета им.
академика Б.Гафурова
- Ведущая организация:** Кафедра неорганической химии
Таджикского национального
университета

Защита диссертации состоится 14 сентября 2023 года в 14:00 часов на заседании Диссертационного совета 6D.КOA–010 у Национального университета Таджикистана. Адрес: 734025, г.Душанбе, проспект Рудаки, 17. E-mail: ikromovich80@mail.ru

С содержанием диссертации можно познакомиться на сайте www.tnu.tj и центральной библиотеке Национального университета Таджикистана по адресу 734025, г.Душанбе, проспект Рудаки, 17.

Автореферат отправлен “ ____ ” _____ 2023 года

Секретарь диссертационного совета
доктор химических наук, доцент



Раджабзода С.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследуемой темы. Химические системы, в том числе водно-солевые системы, являются основой многих природных (горные породы, оксидосодержащие и солесодержащие руды) и технических (сплавы, производственные отходы) объектов. Для изучения различных химических систем используют, обычно, один основной метод - физико-химический анализ, с помощью которого можно определить закономерности взаимодействия их составных частей и создать их диаграммы состояния или фазового комплекса. Диаграммы состояния химических систем означают взаимосвязь свойств (растворимость, плавкость, электропроводность и т.д.) с внешними факторами (температура, давление).

В современной неорганической химии наиболее актуальной задачей является изучение сложных водно-солевых систем. Такие исследования необходимы для выявления оптимальной среды разработки, а также переработки сложного по составу технического сырья, в том числе природных полиминеральных систем и установления закономерностей существующих в них растворимости и фазовых равновесий.

Степень изученности научной темы. Теория и методы исследования химических систем, в том числе многокомпонентных, развивались рядом учёных: Лодочниковым В.Н., Радищевым В.П., Аносовым В.Я., Коржинским Д.С., Перелманом Ф.М., Жариковым В.А., Посыпайко В.И., Михеевой В.И., Горошенко Я.Г., Труниным А.С., Солиевым Л. и др. Применение метода трансляции для изучения многокомпонентных водно-солевых систем более подробно приведено в монографиях Л.Солиева.

В то же время, теория и методы исследования химических систем, особенно многокомпонентных водно-солевых, нуждаются в дополнении, так как до сих пор были решены не все аспекты существующих проблем. В работах вышеуказанных ученых, несмотря на то, что химические системы $\text{Na, K, Mg, Ca} \parallel \text{SO}_4, \text{Cl-H}_2\text{O}$, $\text{MgO-FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, $\text{Na, Ba} \parallel \text{F, Cl, WO}_4$ изучены в отдельных изотермах и созданы их диаграммы, до сих пор не изучены политермы фазовых комплексов, а также растворимость водно-солевых систем, которые состоят из карбонатов, сульфатов кальция и натрия.

Взаимосвязь исследований работы с проектами (программами) и научными темами. Исследования по настоящей диссертационной работе проведены при выполнении плана государственной бюджетной темы: “Растворимость и кристаллизация солей в многокомпонентной системе, состоящей из сульфатов, карбонатов, гидрокарбонатов, фторидов натрия, калия и кальция” (госрегистрационный номер № ГР 0119ТJ00957, 2019-2023 г.г.).

Цель работы доктора (PhD). Исследование политерм фазовых комплексов и растворимости систем, которые содержат карбонаты, сульфаты кальция и натрия, а также составляющие его двух- и трехкомпонентные системы.

Для выполнения цели работы были выполнены следующие задачи:

- выявлено состояние изученности четырехкомпонентной системы, состоящей из сульфатов, карбонатов натрия, кальция и его трехкомпонентных подсистем для изотерм 0,16, 25,16, 50,16, 75,16 и 100,16 °С;

- методом трансляции построены диаграммы фазового комплекса трех- и четырехкомпонентных систем с использованием изотерм 0,16, 25,16, 50,16, 75,16 и 100,16 °С, а также данные фазового комплекса двух- и трехкомпонентных систем;

- изучены растворимость трехкомпонентных и четырехкомпонентной систем $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ при 0,16, 25,16, 50,16, 75,16 и 100,16 °С, а также построены их диаграммы;

- изучена политерма растворимости четырехкомпонентной системы, состоящей из сульфатов, карбонатов натрия и кальция, построена их политермическая диаграмма уровней трех- и четырехкомпонентного составов.

Объект научного исследования. Система, состоящая из четырех компонентов: $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$, трехкомпонентных подсистем $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Ca}^{2+}\text{-}$

$\text{Na}^+-\text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}^+-\text{CO}_3^{2-}-\text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}^{2+}-\text{CO}_3^{2-}-\text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ и двухкомпонентные подсистемы, составляющие трехкомпонентные системы.

Тема научного исследования - политерма растворимости и фазового комплекса водно-солевой системы сульфатов, карбонатов натрия и кальция.

Научная новизна диссертации доктора (PhD):

- впервые методом трансляции изучена изотерма фазового равновесия $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ при температурах 0,16, 25,16, 50,16, 75,16 и 100,16 °С, для них построены замкнутые диаграммы;

- для системы $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$, содержащей 4 компонента, впервые изучена растворимость, их диаграммы построены для изотерм 0,16; 25,16; 50,16 и 75,16 °С;

- для системы, содержащей карбонаты, сульфаты кальция и натрия, исследованы политермы растворимости, составлены их диаграммы, представляющие уровень состава трех- и четырехкомпонентных систем;

- фрагментация кристаллизационных полей твердых фаз сделана при вышеуказанных температурах впервые.

Теоретическая и практическая значимость исследования заключается в следующем:

- полученные результаты о фазовом комплексе в геометрических образах изученной системы, будут использованы как справочные данные для исследования фазового комплекса общих сложных систем, входящих в их состав;

- полученные результаты о фазовом комплексе в геометрических образах исследованной системы будут использованы для прогнозирования путей кристаллизации солей во время галургической переработки природных сульфатных и карбонатных местных объектов.

Выносимые на защиту основные положения диссертационной работы:

- результаты определения выявлено состояние изученности четырехкомпонентной системы, состоящей из сульфатов, карбонатов натрия, кальция и его трехкомпонентных подсистем для изотерм 0,16, 25,16, 50,16, 75,16 и 100,16 °С;

- результаты изучения методом трансляции построены диаграммы фазового комплекса трех- и четырехкомпонентных систем с использованием изотерм 0,16, 25,16, 50,16, 75,16 и 100,16 °С, а также данные фазового комплекса двух- и трехкомпонентных систем;

- результаты изучены растворимость трехкомпонентных и четырехкомпонентной систем $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ при 0,16, 25,16, 50,16, 75,16 и 100,16 °С, а также построены их диаграммы;

- результаты определения политерма растворимости четырехкомпонентной системы, состоящей из сульфатов, карбонатов натрия и кальция, построена их политермическая диаграмма уровней трех- и четырехкомпонентного составов.

Степень достоверности исследования. Достоверность достигнутых результатов обосновываются современными методами физико-химического анализа, апробацией их на форумах, симпозиумах, конференциях международного и государственного уровней и публикациями данных в рецензируемых профильных научных изданиях.

Соответствие диссертации с паспортом научной специальности. Данные, полученные при выполнении настоящего исследования полностью соответствуют паспорту специальности - неорганическая химия, в частности с разделами фундаментальные основы получаемых результатов объектов неорганической химии и материалов на основе них, реакционные способности неорганических соединений в разных агрегатных состояниях и экспериментальных условиях, связь между составом, структурой и свойствами неорганических систем.

Личный вклад автора Автором сделана подборка публикаций по теме диссертации за последние 40 лет, сделан его полный анализ, планированы и выполнены все теоретические и практические исследования, обработаны полученные результаты, составлены диаграммы, сделаны выводы, подготовлены и опубликованы

данные в виде научных статей, докладов, тезисов и материалов конференций различного уровня.

Утверждение и реализация результатов диссертации. Основные и важные результаты выполнения данной научной диссертации защищены и прошли апробацию на: ежегодных конференциях Таджикского государственного педагогического университета им. С. Айни (2017-2023); Международной конференции «Пути и направления рационального использования водных ресурсов Таджикистана» (Душанбе, 2017); республиканской конференции «Перспективы инновационной технологии в развитии химической промышленности Таджикистана» (Душанбе, 2017); Международной конференции «Экологически безопасные и ресурсосберегающие технологии и материалы» (Улан-Уде, 2018); IV Международной конференции «Вопросы физической и координационной химии» (Душанбе, 2019); XXI Менделеевском съезде по общей и прикладной химии (Санкт-Петербург, 2019); Государственной конференции, Нумановских чтениях (Душанбе, 2020); IV Всероссийской конференции с международным участием (Улан-Уде, 2020); Всероссийском симпозиуме молодых ученых по теме «Физико-химические методы в междисциплинарных экологических исследованиях» (Севастополь, 2021); Научно-практическая конференция на тему «Современные проблемы металлургического производства» (Душанбе, 2021); IV материаловедческий форум Байкал (Улан-Уде, 2022); республиканской научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа» (Душанбе, 2023); научно-теоретической международная конференция «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа» (Душанбе, 2023).

Опубликованные материалы. При выполнении данной диссертации было опубликовано 23 работы, из которых 1 малый патент РТ, 11 статей в рецензируемых научных журналах и входящих в реестр журналов ВАК при Президенте РТ (4-Scopus) и 11 тезисов в материалах государственных и международных конференций.

Объем и структура диссертации доктора (PhD). Диссертация является рукописью, включает 134 страниц компьютерного набора, состоит из введения, 4 глав и заключения, выводов. Работа содержит 28 рисунков, 20 таблицы и включает 102 наименований литературных ссылок.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертационная работа начинается введением, где дана полная обоснованность актуальности работы, приведены цель и задачи, которые необходимо было решить в ходе исследования.

Первая глава посвящена методам изучения фазовых равновесий многокомпонентных систем, в том числе: методам разделения многокомпонентных систем на первые и вторые уровни; сингулярных звезд; фазовых единичных блоков (ФЕБ); трансляции и заключению по анализу литературы.

Вторая глава посвящена фазовому комплексу четырехкомпонентной системы, состоящей из сульфатов, карбонатов натрия и кальция, исследования системы проведены при 0,16, 25,16, 50,16, 75,16 и 100,16 °С, построена его диаграмма фазового комплекса, поля кристаллизации отдельных фаз фрагментированы.

Третья глава включает в себя экспериментальную часть работы, она посвящена исследованию растворимости при температурах 0,16, 25,16, 50,16, 75,16 и 100,16 °С, в многокомпонентной системе $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$.

В четвертой главе диссертации представлены данные по изучению политермы растворимости и фазового комплекса системы, содержащей четыре компонента $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$. Исследование проведено на уровне четырех- и трехкомпонентного составов.

Диссертация завершена общими выводами и списком использованной литературы.

В работе для изученных твердых равновесных фаз были приняты такие условные обозначения: CaCO_3 (кальцит) - Сц; $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (мирабилит) - Мб;

$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (декагидрат карбоната натрия) - С·10; Na_2SO_4 (тенардит) –Те; $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (термонарит) - С·1; $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$ (глауберит) – Гб; Бр–беркеит– $2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$; С·7–гептагидрат карбоната натрия– $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; Пр–пирсонит $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; Гл–гейлюссит $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; $5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3 \cdot 5\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; Гп–гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

1. Методы исследования химических систем

В химических системах закономерности фазового равновесия являются широкой основой технологических процессов. Они обусловлены новейшими технологиями, переработками естественного природного сырья и промышленного в том числе. Всем исследователям, работающим в этой области известно, что физико-химический анализ был, есть и остается главным методом изучения природного сырья. Этот метод позволяет выявлять взаимовлияние составных частей системы, затем построить диаграммы плавкости, растворимости и фазового равновесия. Когда системы выдерживают уровень четырехкомпонентности, описывающие их диаграммы составляются с применением фигур (геометрических) трехмерного пространства. Если число компонентов растет до 5 и выше, диаграмму вышеобозначенного пространства этим методом составить просто невозможно.

Причина описанной ситуации заключается в том, что при росте числа компонентности исследуемых систем повышается число геометрических фигур невариантных точек, моновариантных кривых, дивариантных полей. Рост количества геометрических образов системы приводит к чрезмерному усложнению структуры диаграмм. Построение их в одном плане слишком затрудняется.

Такие основные процессы, как сингулярные звезды, триангуляция, падение термодинамического потенциала, ФЕБ, а также графоаналитика являются особым рядом методик физико-химического анализа. В зависимости от размеров фигур исследуемого пространства приведенные методики используются ограниченно, т.к. возникает необходимость формировать новые равновесные фазы. После принятия третьего принципа соответствия в изучении химических систем в анализе появились новые возможности.

Согласно принципа совместимости во время построения диаграмм фазового комплекса возникает совмещение геометрических образов. Например, системы с числом компонентов n - и $n+1$ совмещаются в одной диаграмме. В соответствии с принципом совместимости система с числом компонентов n при переходе на $n+1$ уровень увеличивает свою размерность на 1. Разработан новый метод прогнозирования фазовых комплексов - метод трансляции. При его применении геометрические образы системы с числом компонентов n , при росте числа компонентности на 1, трансформируются. Согласно правила фаз Гиббса и своих топологических свойств они формируют геометрические фигуры компонентного состава $n+1$.

В нашей работе при изучении фазового равновесия системы $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ и подсистем с числом компонентов 3, которые его составляют, применен указанный выше метод трансляции.

2. Политермическое состояние изученности системы с числом компонентов 4: $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$

Обменная система с числом компонентов 4, которая содержит сульфаты, карбонаты натрия и кальций состоит из подсистем с числом компонентов 3: $\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$; $\text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$; $\text{Ca}^{2+} - \text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$; $\text{Ca}^{2+} - \text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$.

Изотермы остовов координат при $0,16$ °С показывают, что из трехкомпонентных подсистем составляющих его, три имеют только по 1 невариантной точки. Этим точкам свойственны твердые фазы: Гп+Мб; Мб+С·10, а также Гп+Сц. Трехкомпонентная система $\text{Ca}^{2+} - \text{Na}^+ - \text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ при $0,16$ °С имеет две невариантные точки и такие равновесные твердые фазы как С·10+Гл и Гл+Сц. Трансляция этих невариантных точек трехкомпонентного уровня на четырехкомпонентный становится причиной образования трех невариантных точек

в данном уровне при изотерме 0,16 °С. Нонвариантные точки указаны следующим образом: E_1^4 , E_2^4 и E_3^4 . Следующие равновесные фазы, такие как: Мб+Гл+Гп; Гп+Гл+Сц и Мб+Гл+С·10 характерны для них.

Изотермы остовов координат при 25,16 °С показывают, что системы с числом компонентов 3: $Na^+-CO_3^{2-}-SO_4^{2-}-H_2O$ и $Ca^{2+}-CO_3^{2-}-SO_4^{2-}-H_2O$ имеют всего по одной нонвариантной точке. Равновесными твердыми фазами этих систем являются Мб+С·10 и Гп+Сц. Объединяют изучаемую систему с 4 компонентами трехкомпонентные системы, которые при данной температуре имеют равновесные твердые фазы Мб+Гб; Гб+Гп; С·10+Гл; Гл+Сц и обладают двумя нонвариантными точками. При трансляции указанных выше нонвариантных точек на уровень четырехкомпонентной системы они формируют подобные себе точки (нонвариантные) четырехкомпонентного уровня, которые приведены ниже: нонвариантные E_1^4 , E_2^4 , E_3^4 , E_4^4 и E_5^4 , а равновесные твердые фазы таковы: Те+Бр+Гб; Бр+С·1+Пр; Гб+Гп+Сс; Гб+Сц+Пр и Гб+Бр+Пр.

Изотермы остовов координат при 50,16 °С доказывают, что количество нонвариантных точек его подсистем по сравнению с изотермами 0,16 и 25,16 °С больше, так как между тремя из них существует взаимодействие, которое становится причиной образования новых равновесий. Равновесные твердые фазы таковы: Бр+С·1; Те+Бр; Гб+Гп; Те+Гб; Пр+Сц; С·1+Пр. В нонвариантной точке системы с 3 компонентами $Ca^{2+}-CO_3^{2-}-SO_4^{2-}-H_2O$ при температуре 50,16 °С – обладают фазовым равновесием Гп+Сц. Оно указывает на то, что при данной температуре для нее также характерна одна нонвариантная точка.

Изотермы остовов координат при 75,16 °С определяет, что для нее нонвариантные точки трехкомпонентных подсистем составляющих ее по сравнению с температурами 0,16, 25,16 и 50,16 °С рассматривается больше, потому что при температуре 75,16 °С между равновесными твердыми фазами как глауберит и гипс происходит взаимодействие и образуется кристаллогидрат двойной соли $5CaSO_4 \cdot Na_2SO_4 \cdot CaSO_3 \cdot 3H_2O$. При данной температуре для трехкомпонентных подсистем, которые ее составляют характерно 8-нонвариантных точек, а их равновесные твердые фазы приведены ниже: Те+Бр; Бр+С·1; Те+Гб; Гб+5Са·На·3; 5Са·На·3+Гп; С·1+Пр; Пр+Сц и Гп+Сц. Фазовое равновесие в нонвариантной точке системы с числом компонентов 3: $Ca^{2+}-CO_3^{2-}-SO_4^{2-}-H_2O$ при температуре 75,16 °С обозначает, что для нее характерна одна нонвариантная точка.

Изотермы остовов координат при 100,16 °С, количество нонвариантных точек трехкомпонентного уровня четырехкомпонентной исследуемой системы по сравнению с температурой 75,16 °С, рассматривается меньше, это связано с тем что при повышении температуры от 75,16 до 100,16 °С, равновесная фаза $5CaSO_4 \cdot Na_2SO_4 \cdot CaSO_3 \cdot 3H_2O$ исчезает и приводит к уменьшению геометрических образов указанной выше системы. Структура диаграммы определяет, что для нее при температуре 100,16 °С, характерно 7 нонвариантных точек, находящихся в равновесии с твердыми фазами, которые приведены ниже: Те+Бр; Бр+С·1; Гп+Сц; Те+Гб; Гб+Гп; С·1+Пр и Пр+Сц. Фазовое равновесие в нонвариантных точках с числом компонентов 3: $Ca^{2+}-CO_3^{2-}-SO_4^{2-}-H_2O$ при температуре 100,16 °С показывает, что названная система находится в эвтоническом состоянии и для нее характерна одна нонвариантная точка.

Нонвариантные точки четырехкомпонентной системы, содержащие карбонаты, сульфаты кальция, натрия и воды в трехкомпонентном уровне, найдены нами методом трансляции (табл. 1).

Таблица 1. Система: $Ca^{2+}, Na^+ || CO_3^{2-}, SO_4^{2-} - H_2O$ находится с твердыми фазами в равновесии, формируют её нонвариантные точки политермы с числом компонентов 3.

Система	Изотерма, °С	Нонвариант. т-ки	Рав.-ные тв. ф-зы
$Na^+-CO_3^{2-}-SO_4^{2-}-H_2O$	0	E_1^3	Мб+С·10

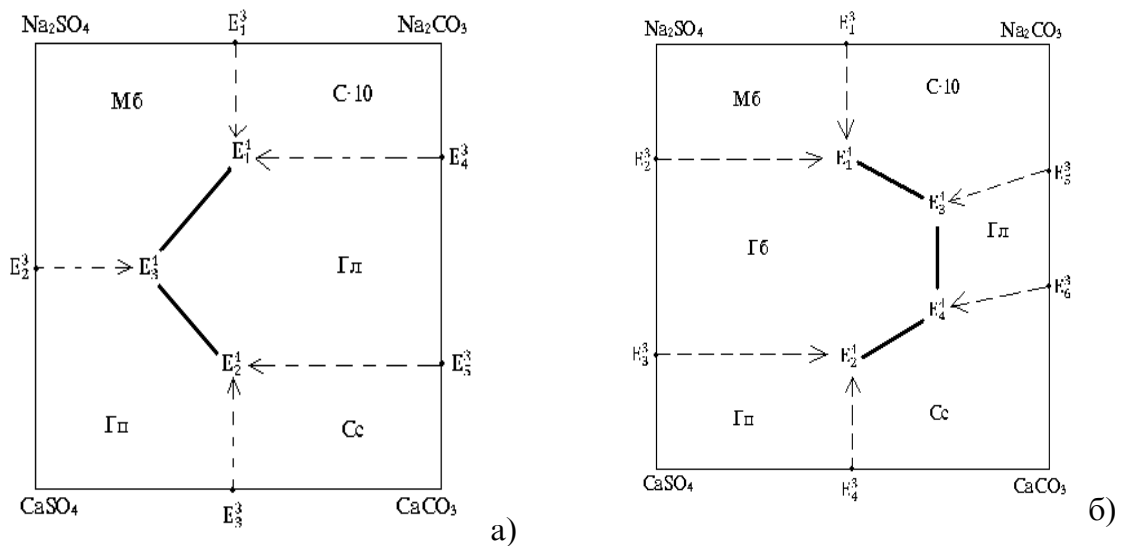
	25	E_1^3	Mб+С·10
	50	E_1^3 E_2^3	Те+Бр Бр+С·1
	75	E_1^3 E_2^3	Те+Бр Бр+С·1
	100	E_1^3 E_2^3	Те+Бр Бр+С·1
$Ca^{2+}-CO_3^{2-}-SO_4^{2-}-H_2O$	0	E_3^3	Гп+Сц
	25	E_4^3	Гп+Сц
	50	E_3^3	Гп+Сц
	75	E_8^3	Сц+Гп
	100	E_3^3	Гп+Сц
$Ca^{2+}-Na^+-SO_4^{2-}-H_2O$	0	E_2^3	Гп+Мб
	25	E_2^3 E_3^3	Мб+Гб Гб+Гп
	50	E_4^3 E_5^3	Те+Гб Гб+Гп
	75	E_3^3 E_4^3 E_5^3	Те+Гб Гб+5Са·Na·3 5Са·Na·3+Гп
	100	E_4^3 E_5^3	Те+Гб Гб+Гп
$Ca^{2+}-Na^+-CO_3^{2-}-H_2O$	0	E_4^3 E_5^3	С·10+Гл Гл+Сц
	25	E_5^3 E_6^3	С·10+Гл Гл+Сц
	50	E_6^3 E_7^3	С·1+Пр Пр+Сс
	75	E_6^3 E_7^3	С·1+Пр Пр+Сц
	100	E_6^3 E_7^3	С·1+Пр Пр+Сц

С использованием данных в интервале температур 0-100,16 °С (табл.1) построена диаграмма фазового комплекса системы с числом компонентов 4. Система состоит из карбонатов, сульфатов кальция, натрия и воды на уровне четырехкомпонентного состава. Построенная структура диаграммы имеет вид “развертки”, призмы (рис. 1). В дальнейшем она может быть применена как основа для расположения в ней геометрических образов следующего уровня компонентности. Из построенных диаграмм можно сделать вывод, что для изученных систем на уровне состава с числом компонентов 3 в интервале температур 0-100,16 °С характерны 11 кристаллические поля индивидуальных твердых фаз (дивариантные поля), 14 кривые присоединения двух твердых индивидуальных фаз (моновариантные

Таблица 2. Трансляция геометрических образов подсистем при добавлении следующего компонента

Изотерма, °С	Транслируемые геометрические элементы	Образуемые неинвариантные точки	Равновесные твердые фазы
0,16	E_1^3, E_4^3 E_3^3, E_5^3 $E_2^3, \Gamma\text{Л}$	E_1^4 E_2^4 E_3^4	$\text{Мб}+\text{Гл}+\text{С}\cdot 10$ $\text{Гп}+\text{Гл}+\text{Сц}$ $\text{Мб}+\text{Гл}+\text{Гп}$
25,16	E_1^3, E_2^3 E_3^3, E_4^3 $E_5^3, \Gamma\text{б}$ $E_6^3, \Gamma\text{б}$	E_1^4 E_2^4 E_3^4 E_4^4	$\text{Мб}+\text{Гб}+\text{С}\cdot 10$ $\text{Гп}+\text{Гб}+\text{Сц}$ $\text{Гб}+\text{Гл}+\text{С}\cdot 10$ $\text{Гб}+\text{Гл}+\text{Сс}$
50,16	E_1^3, E_4^3 E_2^3, E_6^3 E_3^3, E_5^3 $E_7^3, \Gamma\text{б}$	E_1^4 E_2^4 E_3^4 E_4^4 E_5^4	$\text{Те}+\text{Бр}+\text{Гб}$ $\text{Бр}+\text{С}\cdot 1+\text{Пр}$ $\text{Гб}+\text{Гп}+\text{Сц}$ $\text{Гб}+\text{Сц}+\text{Пр}$ $\text{Гб}+\text{Бр}+\text{Пр}$
75,16	E_1^3, E_3^3 E_2^3, E_6^3 E_5^3, E_8^3 $E_4^3, \text{Бр}$ $E_7^3, 5\text{Ca}\cdot\text{Na}\cdot 3$	E_1^4 E_2^4 E_3^4 E_4^4 E_5^4 E_6^4	$\text{Те}+\text{Бр}+\text{Гб}$ $\text{С}\cdot 1+\text{Бр}+\text{Пр}$ $5\text{Ca}\cdot\text{Na}\cdot 3+\text{Гп}+\text{Сц}$ $\text{Гб}+\text{Бр}+5\text{Ca}\cdot\text{Na}\cdot 3$ $5\text{Ca}\cdot\text{Na}\cdot 3+\text{Пр}+\text{Сц}$ $5\text{Ca}\cdot\text{Na}\cdot 3+\text{Пр}+\text{Бр}$
100,16	E_1^3, E_4^3 E_2^3, E_6^3 E_3^3, E_5^3 $E_7^3, \Gamma\text{б}$	E_1^4 E_2^4 E_3^4 E_4^4 E_5^4	$\text{Те}+\text{Бр}+\text{Гб}$ $\text{Бр}+\text{С}\cdot 1+\text{Пр}$ $\text{Гб}+\text{Гп}+\text{Сц}$ $\text{Пр}+\text{Сц}+\text{Гб}$ $\text{Гб}+\text{Бр}+\text{Пр}$

С использованием данных исследования построена диаграмма фазового равновесия в системе: $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ в интервале 25,16 °С от 0,16 до 100,16 °С (рис. 2).



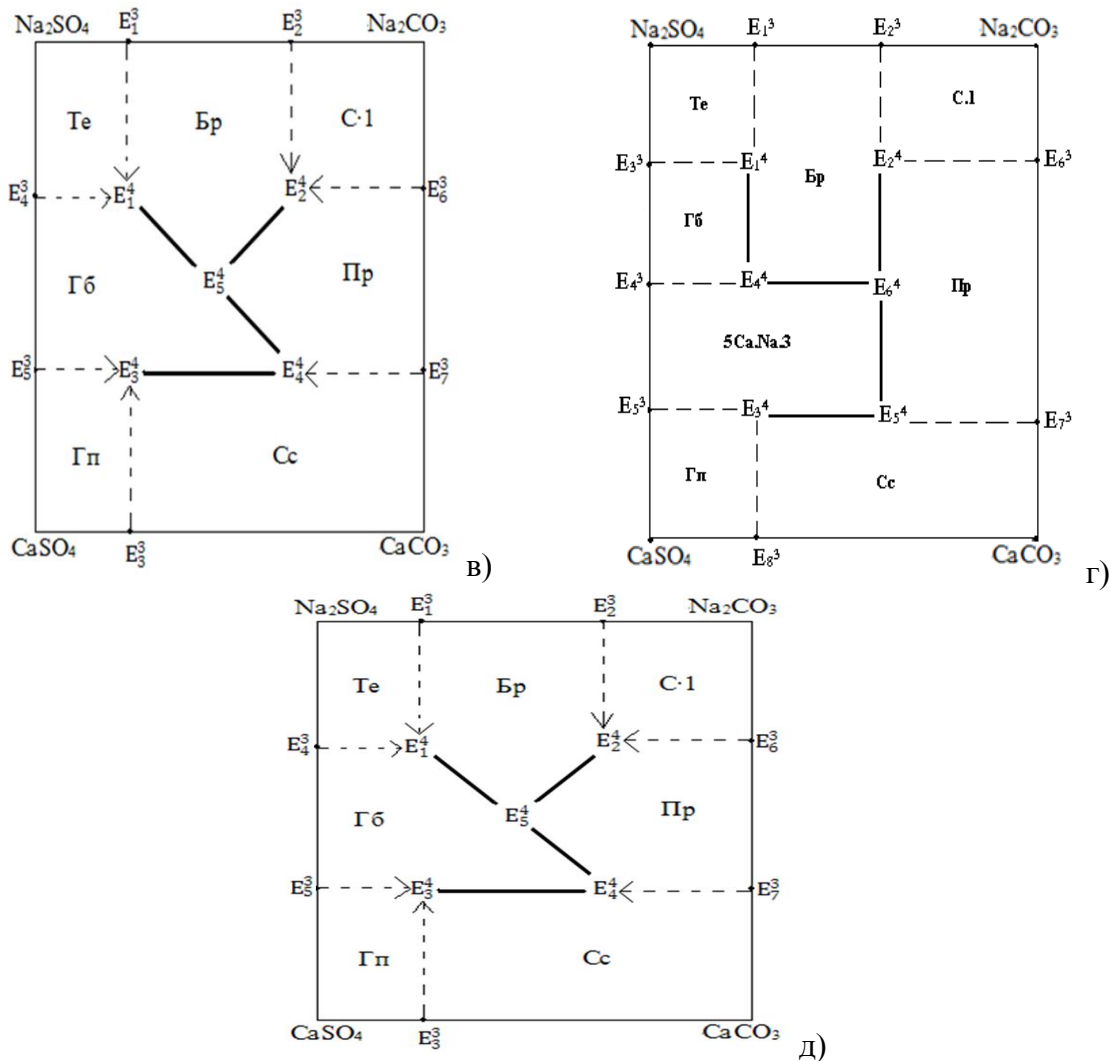


Рисунок 2. Диаграмм фазового равновесия системы $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$.
 Изотермы относятся к, °C: а) 0,16; б) 25,16 ; в) 50,16 ;
 г) 75,16 ; д) 100,16.

В построенной диаграмме моновариантные кривые трехкомпонентной системы обозначены тонкими сплошными линиями. Характерные таким системам твердые фазы (равновесные) приведены на рисунке1. Пунктирными линиями обозначены моновариантные кривые уровня четырехкомпонентной системы. Такие кривые формируются при трансляции неинвариантных точек с числом компонентов 3 на четырехкомпонентный уровень. Стрелками указано направление трансляции. Твердые фазы этих линий- это транслированные равновесные твердые фазы уровня с числом компонентов 3 (табл. 1). Между неинвариантными точками четырехкомпонентного уровня есть жирные сплошные линии, которые обозначают моновариантные кривые этого уровня и для них свойственны равновесные твердые фазы указанные ниже:

Изотерма 0,16 °C

$E_1^4 \text{ ————— } E_3^4 = \text{Мб} + \text{Гл};$
 $E_2^4 \text{ ————— } E_3^4 = \text{Гп} + \text{Гл}.$

Изотерма 50,16 °C

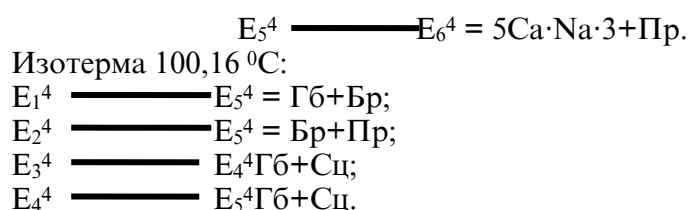
$E_1^4 \text{ ————— } E_5^4 = \text{Гб} + \text{Бр};$
 $E_2^4 \text{ ————— } E_5^4 = \text{Бр} + \text{Пр};$
 $E_3^4 \text{ ————— } E_4^4 = \text{Гб} + \text{Сц};$
 $E_4^4 \text{ ————— } E_5^4 = \text{Гб} + \text{Сц}.$

Изотерма 25,16 °C

$E_1^4 \text{ ————— } E_3^4 = \text{Гб} + \text{С.1};$
 $E_2^4 \text{ ————— } E_4^4 = \text{Гб} + \text{Сц};$
 $E_3^4 \text{ ————— } E_4^4 = \text{Гб} + \text{Гл}.$

Изотерма 75,16 °C

$E_1^4 \text{ ————— } E_{44} = \text{Гб} + \text{Бр};$
 $E_{24} \text{ ————— } E_{64} = \text{Бр} + \text{Пр};$
 $E_3^4 \text{ ————— } E_5^4 = 5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3 + \text{Сц};$
 $E_3^4 \text{ ————— } E_6^4 = 5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3 + \text{Бр};$



Фазовые превращения, которые образуются при повышении температуры от 0,16 до 100,16 °С в трехкомпонентных подсистемах составляющих четырехкомпонентную систему: $Ca^{2+}, Na^+ || CO_3^{2-}, SO_4^{2-} - H_2O$, становятся причиной усложнения диаграмм фазового равновесия указанной четырехкомпонентной системы

С использованием метода трансляции по полученным данным построена полная, замкнутая диаграмма фазового комплекса системы $Ca^{2+}, Na^+, || CO_3^{2-}, SO_4^{2-}, - H_2O$. Для их политермы свойственно такое количество геометрических элементов, которые можно увидеть в таблице 3.

Таблица 3. Сравнение геометрических элементов системы: $Ca^{2+}, Na^+ || CO_3^{2-}, SO_4^{2-}, - H_2O$ в политерме

Геометрические элементы	Температура, °С				
	0	25	50	75	100
Нонвар.-ные т-ки	3	4	5	6	5
Моновар.-ные кр.-е	7	9	11	13	11
Дивар.-ные п-ля	5	6	7	8	7

3. Экспериментальное изучение четырехкомпонентной системы

При прогнозировании фазовых равновесий и применении метода трансляции в системах с числом компонентов до 5 и выше, как показывают исследования, в разы уменьшается время их экспериментального исследования, а также сокращается применение материала и на много меньше расходуется времени на опыт. Необходимо отметить, что прогнозирование фазовых равновесий в геометрических фигурах позволяет обеспечить оптимальные параметры среды естественных равновесий. Это, в свою очередь, важно для установления взаимного существования исследуемых равновесий.

Определение растворимости в найденных методом трансляции нонвариантных точках

Расположение нонвариантных точек, определенные при эксперименте методом трансляции, можно разделить на несколько типов. Начнем с метода насыщения, который является основным. Суть метода такова, находящийся в равновесии раствор с n-компонентной системой насыщается (постепенно) другой твердой фазой с уровнем компонентности n+1.

В следующем методе смешиваются конгломераты растворов n-компонентных твердых фаз с конгломератом равновесных твердых фаз другого n-компонентного уровня. Последний транслируется. На уровне n+1 компонентного состава встречается в виде моновариантных кривых.

В обоих случаях получаются смеси. Их разогревают, смешивая при необходимых температурах. Смешивание продолжают до того, как собственное равновесие находится равновесием постоянства состава жидкой и твердой фаз. Когда равновесие достигнуто, проводят химический анализ раствора системы. Затем, определяют для нонвариантных точек n+1 компонентного состава координаты. По данным такого эксперимента составляется диаграмма растворимости n+1 компонентной системы.

Система $Ca^{2+}, Na^+ || CO_3^{2-}, SO_4^{2-}, - H_2O$. Её изотерма растворимости при 0,16°С.

Эта система с числом компонентов 4 состоит из карбонатов натрия и кальция, их сульфатов. Соли кристаллизуются при 0 °С в виде $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ – (мирабилита)

- Мб; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (гипса) - Гп; $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ - (декагидраткарбоната) - С·10; $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ CaCO_3 (кальцита) – Сц; - (гейлюссита) - Гл. При проведении эксперимента применены реактивы: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (х.ч.); $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (х.ч.); CaCO_3 (ч.), Na_2CO_3 (ч.). Результаты растворимости исследованной системы при температуре 0 °С приведены в таблице 4.

Таблица 4. Система $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$, её растворимость при 0,16 °С

Нонвариантные т-чки	Сост. жидк. фазы, мас.%					Равн.-ные фаз.	твр./
	Na_2SO_4	CaSO_4	Na_2CO_3	CaCO_3	H_2O		
e ₁	4.3	-	-	-	95.70	Мб	
e ₂	-	0,176	-	-	99,82	Гп	
e ₃	-	-	6,57	-	93,43	Сх10	
e ₄	-	-	-	0.0031	99.996	Сц	
E_1^3	4.34	0.196	-	-	95.46	Мб+Гп	
E_2^3	-	-	12,0	0,0048	87,99	Сх10+Гл	
E_3^3	-	-	4,3	0,0048	95,69	Гл+Сц	
E_4^3	2,8	-	6,01	-	91,19	Мб+ Сх10	
E_5^3	-	0,20	-	0,0045	99,795	Гп+Сц	
E_1^4	1,967	0,244	1,551	-	96,238	Мб+ Сх10+Гп	
E_2^4	-	0,272	11,30	0,00465	88,42	Сх10+Гп+Гл	
E_3^4	-	0,34	18,30	0,0125	81,347	Гп+Гл+Сц	

С использованием полученных результатов построена диаграмма четырехкомпонентной системы $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ при температуре 0,16 °С. На рисунке 3. приведена его солевая часть.

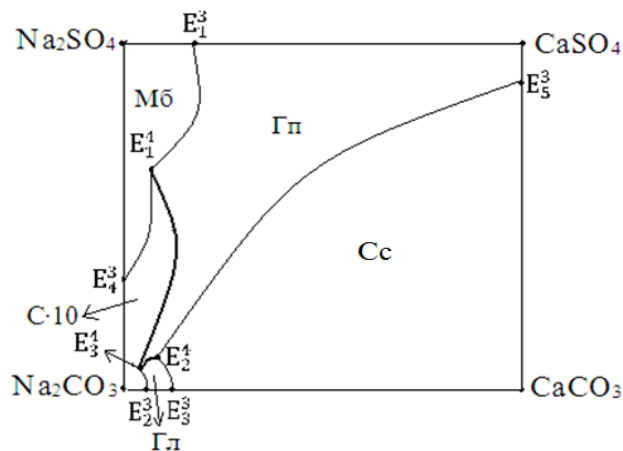


Рисунок 3. Диаграмма растворимости четырехкомпонентной системы $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ для температуры 0,16 °С

Как можно видеть из диаграммы состояния (рис. 3), кристаллизационные поля гипс и кальцит составляют большую часть диаграммы, это свидетельствует о том, что они малорастворимы в данных условиях.

Рентгенофазовый анализ твердых фаз был проведен в дифрактографе ДРОН-3 (фильтрация в $\text{CuK}\alpha$, а радиация Ni – фильтр), скорость записи дифрактограммы составляет 30 угл.с/мин. Он сохранен в градусах 0,1.

На рисунке 4 приведены дифрактограммы системы: $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}, - \text{H}_2\text{O}$ при температуре 0,16 °С.

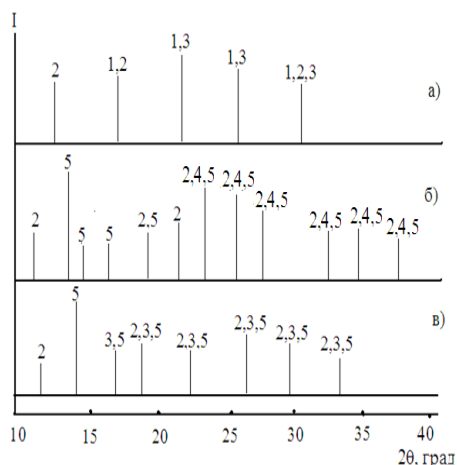


Рисунок 4. Система: $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$. Рентгенограммы её равновесных твердых фаз при температуре 0,16 °С. Кривые относятся к: а) Мб+Гп+С·10 (т-ка E_1^4); б) Гп+Гл+Сц (т-ка E_2^4); в) Гп+С·10+Гл (т-ка E_3^4); 1 – Мб, 2 – Гп, 3 – С·10, 4 – Сц, 5 – Гл.

Система $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$. Её изотерма растворимости при 25,16°С.

Включает составные части сульфатов, карбонатов, натрия и кальция. Они кристаллизуются при 25,16 °С в виде: $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (мирабилит) -Мб; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (гипс) -Гп; $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$ – (глауберит) - Гб; $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (гейлюссит) - Гл; CaCO_3 (кальцит) - Сц; $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ - С·10. При эксперименте применялись следующие реактивы: Na_2CO_3 (ч.); $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (х.ч), CaCO_3 (ч.) и $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (х.ч.).

Система: $\text{Na}^{+}, \text{Ca}^{2+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$. Данные по растворимости приведены в таблице 5.

Таблица 5. Система: $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$. Её растворимость при температуре 25,16 °С

Т- ка	Сос.-в жид. фа-ы, мас.%					Равнов.-ные тв.-е ф-зы
	Na_2SO_4	CaSO_4	Na_2CO_3	CaCO_3	H_2O	
e_1	21.9	-	-	-	78.1	Мб
e_2	-	0.209	-	-	99.791	Гп
e_3	-	-	22.95	-	77.05	С·10
e_4	-	-	-	0.0048	99.9952	Сц
E_1^3	21.75	0.197	-	-	78.05	Мб+Гб
E_2^3	25.78	0.188	-	-	74.032	Гп+Гб
E_3^3	16.40	-	18.40	-	65.30	Мб+С·10
E_4^3	-	-	5.649	0.00349	94.347	С·10+Гл
E_5^3	-	-	4.5	0.0024	95.497	Гл+Сц
E_6^3	-	0.213	-	0.0048	99.782	Гп+Сц
E_1^4	14.2	0.273	19.6	-	65.927	Мб+С·10+Гб
E_2^4	-	0.408	18.55	0.00547	80.987	Гп+Гб+Сц
E_3^4	12.52	-	19.45	0.00521	64.977	С·10+Гл+Гб
E_4^4	-	0.328	20.7	0.00431	78.928	Сц+Гб+Гл

По результату исследования впервые составлена диаграмма растворимости системы: $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ при температуре 25,16 °С (рис. 5, а) водно-солевая часть, б) солевая часть).

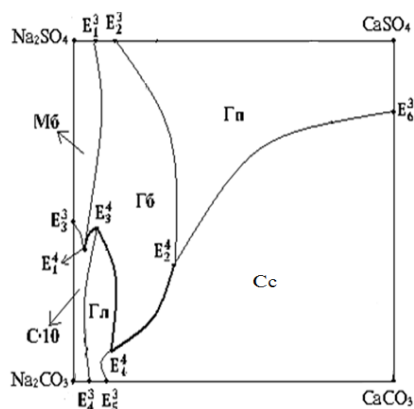


Рисунок 5. Система $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$. Диаграмма растворимости системы (солевая часть) при температуре $25,16\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Рентгенофазовый анализ твердых фаз был проведен в дифрактографе ДРОН-3 (фильтрация в $\text{CuK}\alpha$, а радиация Ni – фильтр), скорость записи дифрактограммы составляет $30\text{ угл.}/\text{мин}$. Он сохранен в градусах $0,1$. Расстояние между плоскостями (d_{hkl}) совпадает соотражающими углами (θ).

Система: $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$, для нее получены дифрактограммы отдельных равновесных твердых фаз при температуре $25,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 6).

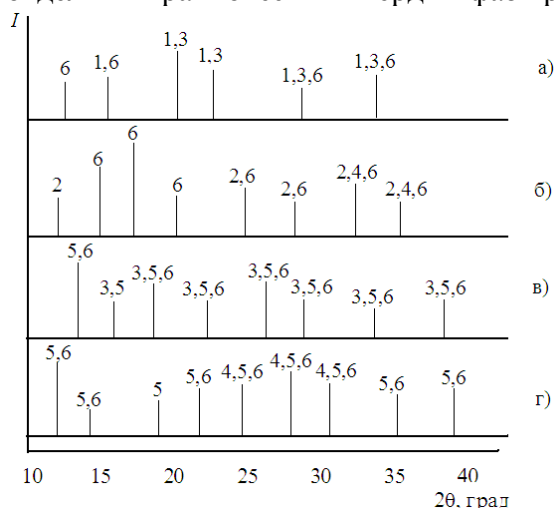


Рисунок 6. Рентгенограммы равновесных твердых фаз системы $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ при температуре $25,16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Штрихрентгенограммы относятся: а) $\text{Гб} + \text{Мб} + \text{С}\cdot 10$ (т-ка E_1^4); б) $\text{Гб} + \text{Гп} + \text{Сс}$ (т-ка E_2^4); в) $\text{Гб} + \text{Гл} + \text{С}\cdot 10$ (т-ка E_3^4); г) $\text{Гб} + \text{Гл} + \text{Сс}$ (т-ка E_4^4); 1 – Мб, 2 – Гп, 3 – С·10, 4 – Сс, 5 – Гл, 6 – Гб.

Система: $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$, изотерма её растворимости при $50,16\text{ }^{\circ}\text{C}$

Данная четырехкомпонентная система при $50,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ включает следующие основные части: карбонаты, сульфаты кальция и натрия, которые кристаллизуются в виде CaCO_3 – кальцит (Сц), $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – С·1, гейлюссит – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Гл), тенардит – Na_2SO_4 (Те), глауберит – $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$ (Гб), беркеит – $2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$ (Бр), пирсонит – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Пр) и гипс – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Гп).

Эксперименты проведены по следующему плану насыщения растворов с их осадками: 1) $\text{Ca}^{2+} - \text{Na}^{+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$; 2) $\text{Ca}^{2+} - \text{Na}^{+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$; 3) $\text{Na}^{+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$; и 4) $\text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$, при $50,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ согласно схемы трансляции они объединены и перемешивались в термостате магнитной мешалкой в течении 50-100 часов до состояния равновесия. Контактным термометром контролировали температуру системы. Растворимость системы: $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ изучена при температуре $50,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ (табл. 6).

Таблица 6. Система: $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$. Её растворимость при температуре $50,16\text{ }^{\circ}\text{C}$

Нонвар.-ные т-ки	Состав ж-ой фазы, мас. %					Равн. -ные тв. -е ф-ы
	Na_2SO_4	CaSO_4	Na_2CO_3	CaCO_3	H_2O	
e_1	31.8	–	–	–	68.2	Те
e_2	–	0.210	–	–	99.79	Гп
e_3	–	–	32.1	–	67.9	Сх1

e_4	–	–	–	0.0054	99.9946	Сц
E_1^3	22.47	–	10.52	–	67.01	Те+Бр
E_2^3	5.87	–	28.52	–	65.61	Бр+Сх1
E_3^3	–	0.107	–	0.0042	99.888	Гп+Сц
E_4^3	3.30	0.166	–	–	96.534	Те+Гб
E_5^3	3.88	0.274	–	–	95.846	Гб+Гп
E_6^3	–	–	24.78	0.0039	75.216	Сх1+Пр
E_7^3	–	–	20.93	0.0041	79.065	Пр+Сц
E_1^4	1.521	0.148	3.743	–	94.588	Те+Бр+Гб
E_2^4	3.719	–	13.98	0.00375	82.297	Сх1+Бр+Пр
E_3^4	8.923	0.162	–	0.0047	90.910	Гп+Сц+Гб
E_4^4	–	0.136	2.77	0.0046	97.089	Сц+Пр+Гб
E_5^4	6.17	–	9.01	0.0063	84.813	Гб+Бр+Пр

Диаграмма растворимости системы: $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}, -\text{H}_2\text{O}$. При температуре 50,16 °С она построена впервые (рис. 7. водно-солевая часть).

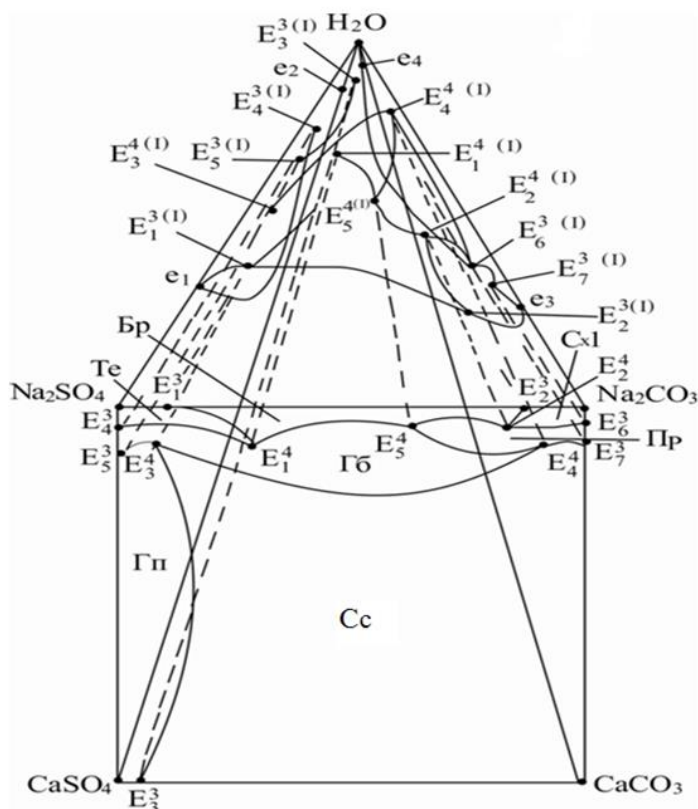


Рисунок 7. Четырехкомпонентная система: $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}, -\text{H}_2\text{O}$. Водно-солевая часть диаграммы растворимости при температуре 50,16 °С

Изучены дифрактограммы каждой из твердых фаз исследованной системы при температуре 50,16 °С (рис. 8). Их сравнительный анализ проведен при других температурах: 0,16, 25,16 и 75,16 °С .

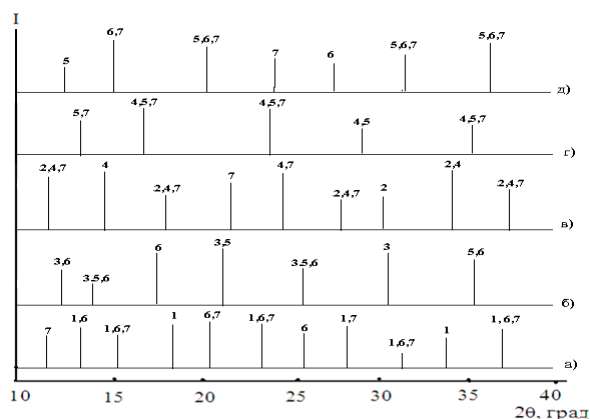


Рисунок 8. Система: $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}, -\text{H}_2\text{O}$. Рентгенограммы её твердых фаз при 50, °С: а) Гб+ Бр+Те (т-ка E_1^4); б) Сх1 +Бр +Пр (т-ка E_2^4); в) Сц+ Гб+Гп (т-ка E_3^4); г) Гб + Пр+Сс (т-ка E_4^4); д) Гб +Пр+Бр (т-ка E_5^4). 1 – Те, 2 – Гп, 3 – С·1, 4 – Сс, 5 – Пр, 6 – Бр, 7 – Гб.

Изотерма растворимости системы $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ при 75,16 °С

Карбонаты, сульфаты кальция и натрия при 75,16 °С являются составными частями указанной выше системы. Они кристаллизуются в виде CaCO_3 – кальцитит (Сц), $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – С·1, гейлюссит – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Гл), тенардит – Na_2SO_4 (Те), глауберит – $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$ (Гб), беркеит – $2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$ (Бр), пирсонит – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Пр), гипс – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Гп) и $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 5\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ – $5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3$. Следующие реактивы были применены при проведении эксперимента: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (х.ч.); $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (х.ч.); CaCO_3 (ч.); Na_2CO_3 (ч.).

Получены результаты по растворимости системы $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ (темпер. 75,16 °С) (табл. 8).

Таблица 8. Растворимость системы $\text{Na}^{+}, \text{Ca}^{2+} || \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ при температуре 75,16 °С

№ точки	Состав жидкой фазы, мас.%					Равновесные твердые фазы
	Na_2SO_4	CaSO_4	Na_2CO_3	CaCO_3	H_2O	
e ₁	30,35	–	–	–	69,650	Те
e ₂	–	–	31,2	–	68,800	Na·1
e ₃	–	0,481	–	–	99,509	Гп
e ₄	–	–	–	0,0056	99,994	Сц
E_1^3	25,0	–	6,40	–	68,600	Те+Бр
E_2^3	3,80	–	28,9	–	67,300	Бр+Na·1
E_3^3	4,60	0,522	–	–	94,878	Те+Гб
E_4^3	5,84	0,888	–	–	93,272	Гб+5Ca·Na·3
E_5^3	4,34	0,884	–	–	95,376	5Ca·Na·3+Гп
E_6^3	–	–	21,75	0,0065	78,2435	Na·1+Пр
E_7^3	–	–	24,8	0,0078	75,1922	Пр+Сц
E_8^3	–	0,692	–	0,0063	81,7837	Гп+Сц
E_1^4	24,38	0,911	20,29	–	54,419	Те+Гб+ Бр
E_2^4	28,42	–	30,14	0,0058	41,4342	Na·1+Бр+Пр
E_3^4	15,19	0,824	–	0,0067	83,9793	5Ca·Na·3+Гп+Сц
E_4^4	16,98	0,783	21,18	–	61,057	Гб+Бр+5Ca·Na·3
E_5^4	–	0,544	33,72	0,0091	65,72	5Ca·Na·3+Сц+Пр
E_6^4	–	0,646	21,16	0,0053	78,1887	Пр +Бр+5Ca·Na·3

Система: $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+} || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$, её диаграмма растворимости построена при температуре 75,16 °С впервые (рис. 9 а) водно-солевая часть; б) солевая часть).

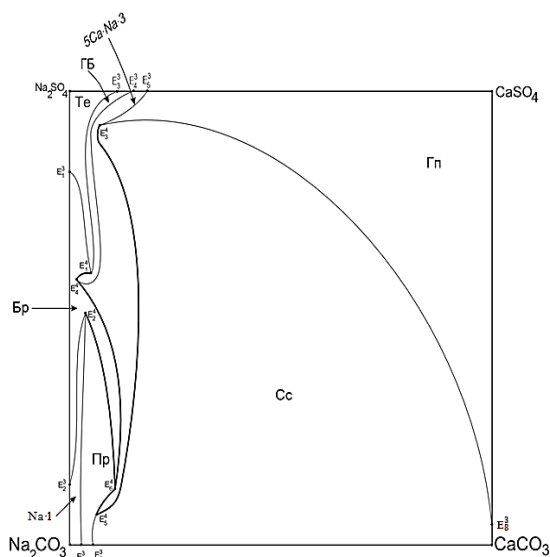


Рисунок 9. Система: $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}, -\text{H}_2\text{O}$, её диаграмма растворимости (солевая часть) при температуре $75,16\text{ }^\circ\text{C}$

4. Трансляционное изображение изотерм и политерм растворимости химической системы

В этой главе метод трансляции использован для каждого водно-солевого состояния химических систем. Сперва по данным растворимости в n -компонентных системах построены изотермы растворимости $n + 1$ компонентных систем (трансляция в сторону нового компонента). Затем, в стороне температуры (новый параметр) по изотерме $n + 1$ компонентной системы создана его политерма. Используя политерму растворимости $n + 1$ компонентной системы с “обратной трансляцией” определены политермы растворимости двух- и трехкомпонентных систем (трансляция в сторону числа компонентности 3 и 2). Преимущество этого метода в том, что он может дать возможность не используя политермы временных двух- и трехкомпонентных систем построить политерму четырехкомпонентной системы. Так исследователь может, не строя многочисленные политермы растворимости n -компонентных систем, изучить политерму многокомпонентной необходимой системы.

В предыдущих главах изучен фазовый комплекс и растворимость четырёхкомпонентной обменной системы, которые состоят из сульфатов, карбонатов натрия и кальция для изотерм $0-100\text{ }^\circ\text{C}$. Данная глава включает в себя политерму названной системы, в ней изучены различные кривые и построена его диаграмма.

Политерма трехкомпонентной системы: $\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$.

По данным о растворимости системы: $\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ построена ее политерма диаграммы в интервале температур $0,16-100,16\text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 10).

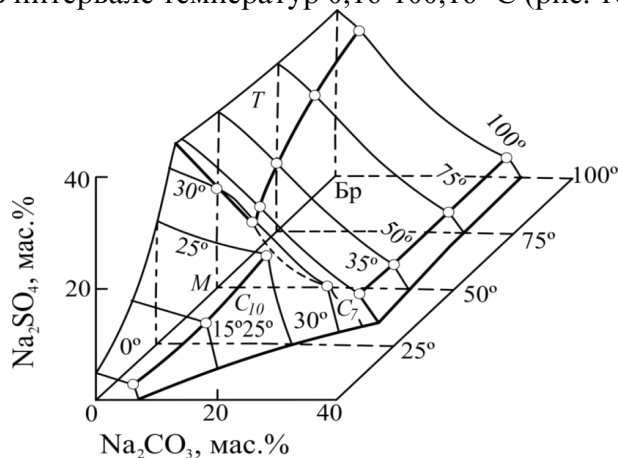


Рисунок 10. Политерма диаграммы системы: $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$

В диаграмме указаны направления срезов. Диаграмма растворимости состоит из шести полей кристаллизации- мирабилит, декагидрат карбонат натрия,

моногидрат карбонат натрия, гептагидрат карбонат натрия, тенардит, беркеит. Как видно из диаграммы, в системе наравне с образованием новых фаз также наблюдается процесс дегидратации мирабилита до тенардита и декагидрата карбоната натрия до моногидрата.

Нонвариантные точки четырехкомпонентного уровня для политермы системы: $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ в интервале температур 0,16-100,16 °С

Растворимость в четырехкомпонентной, обменной, замкнутой, водной системе $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaSO}_4 \leftrightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3$ изучена в широком интервале температур 0,16-100,16 °С. Тенардит образуется в промежутке указанных выше температур как составная часть двойных натрий-кальциевых солей, смеси карбонато-сульфат и кристаллогидратов. Например, мирабилита - $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$; беркеита - $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$; глауберита - $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$; декагидрат карбоната натрия - $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$; моногидрата карбоната натрия $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$; гейлюссита - $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Результат построения проекции политермы системы: $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}, - \text{H}_2\text{O}$ позволил собрать невариантные точки кристаллизации фаз и их образование в любых краях призмы. Метод оптимальной проекции каждого объема по отдельности дает возможность определить схему температур невариантных точек и установить состав раствора. Установлена политерма диаграммы системы $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3 \xrightleftharpoons{\text{H}_2\text{O}} \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaSO}_4$ в интервале температур 0,16-100,16 °С (рис. 11).

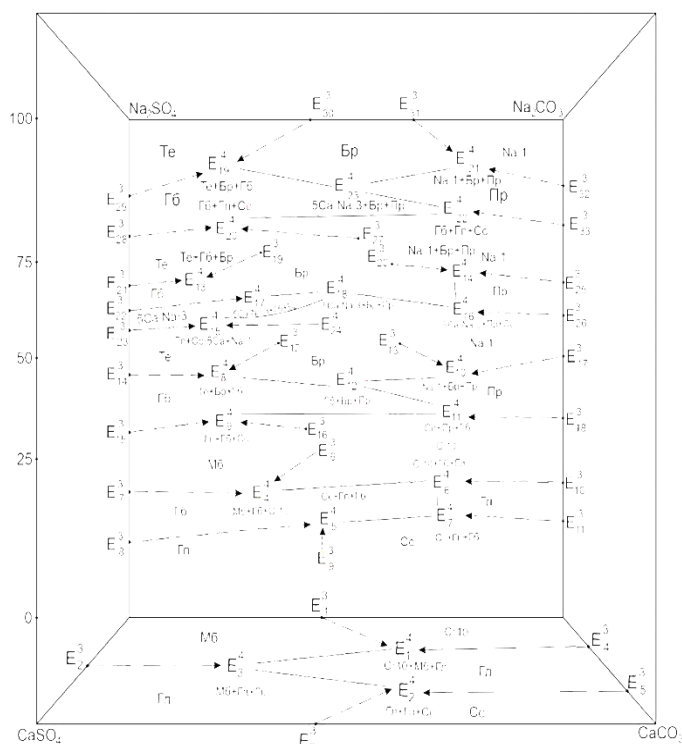


Рисунок 11. Политерма фазового равновесия системы $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$

Для определения жидкого состава в невариантных точках диаграммы за основу взят раствор, который отвечает насыщению твердых фаз. Подготовленные равновесные растворы с твердыми фазами при 75 °С, после того как определили температуры раствора равную 50,16 °С, наблюдалась в ней фаза $5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3$. Такое фазовое изменение также наблюдается для Br, Pr, Te, C7, C10. Из диаграммы видно, что объем кристаллизации гипса и кальцита в четырехкомпонентной системе находится в интервале температур 0,16-100,16 °С. Тенардит существует при температуре 100, 0,16-28,716 °С. При охлаждении он превращается в мирабилит. Поле

глауберита начинается в трехкомпонентной системе $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$, образуется в изотерме $25,16\text{ }^\circ\text{C}$ и может существовать до $100,16\text{ }^\circ\text{C}$.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ существующей литературы по настоящей теме показал, что система $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} \text{-H}_2\text{O}$ в интервале температурах $0,16\text{-}100,16\text{ }^\circ\text{C}$ изучена частично, но ее диаграммы фазового комплекса не построены.
2. Впервые, при температуре $0,16\text{-}100,16\text{ }^\circ\text{C}$ построены диаграммы растворимости, составляющие исследуемую четырехкомпонентную систему $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} \text{-H}_2\text{O}$ трехкомпонентных подсистем $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$; $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-CO}_3^{2-}\text{-H}_2\text{O}$; $\text{Na}^+\text{-CO}_3^{2-}\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ и $\text{Ca}^{2+}\text{-CO}_3^{2-}\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$.
3. Методом трансляции, впервые изучены политермы фазового комплекса системы: $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} \text{-H}_2\text{O}$, построены их диаграммы для температур $0\text{-}100\text{ }^\circ\text{C}$.
4. Осуществлено сравнение структуры диаграмм равновесия системы: $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} \text{-H}_2\text{O}$ в политерме. Установлено, что при взаимодействии равновесных твердых фаз мирабилит с гипсом формирует новую фазу- глауберит и тенардит с моногидратом фазы беркеит. Они изменяют структуру диаграммы фазового комплекса системы.
5. Впервые изучена растворимость четырехкомпонентной системы $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} \text{-H}_2\text{O}$ при температурах $0,16, 25,16, 50,16$ и $75,16\text{ }^\circ\text{C}$, построены их диаграммы растворимости. На основе растворимости и определенных отдельных кристаллизационных фаз построены политермы, состоящие из сульфатов, карбонатов натрия и воды.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Важнейшие полученные результаты при выполнении научно-исследовательской диссертации PhD применяются в учебном процессе преподавании дисциплины «Основы физико-химического анализа» для магистров, а так же «как специальный курс для бакалавров специальности химия ТГПУ имени С. Айни», в то же время может применяться при прогнозировании фазовых комплексов пяти-шести-компонентных систем содержащих эту систему и построении их диаграмм фазового комплекса, кроме этого полученные результаты по политерме фазового комплекса в геометрических образах изученной системы используются для прогнозирования путей кристаллизации солей во время галургической переработки природных сульфатных и карбонатных местных объектов, в особенности жидких отходов производства алюминия.

Список опубликованных материалов по работе диссертации

Малый патент

[1-М]. **Махмадов, Х.Р.** Способ получения декагидрата карбоната натрия из жидких отходов алюминиевого производства. / М.Т.Жумаев, И.М.Низомов, **Х.Р.Махмадов**, Н.В.Олимджонова, Д.В.Музафарова. Малый патент РТ. № ТЈ 3141. Душанбе, 30.01.2023г.

Научные статьи в рецензируемых журналах:

[1-М]. **Махмадов, Х.Р.** Растворимость системы $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ при $50\text{ }^\circ\text{C}$ / Л. Солиев, М.Т. Джумаев, Р.О. Тураев, **Х.Р. Махмадов** // Химический журнал Казахстана. 2017. № 4 (60). -С.29-35.

[2-М]. **Makhmadov, H.R.** Structure of the solubility diagram in the $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ system at $0, 25$ and $50\text{ }^\circ\text{C}$ / L. Soliev, M.T. Jumaev, R.O. Turaev, **H.R. Makhmadov**, B.B. Dzabborov // *Chimica Techno Acta*. 2018. Vol. 5 № 2. PP.104-108.

[3-М]. **Makhmadov, H.R.** Solubility in the system $\text{Na,Ca} \parallel \text{SO}_4, \text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ at $50\text{ }^\circ\text{C}$ / L. Soliev, M.T. Jumaev, **H.R. Makhmadov** // *Russian Journal of Inorganic Chemistry*. 2019. Vol.64. № 2. -PP.270-276.

- [4-M]. **Makhmadov, Kh.R.** Solubility in the Na,Ca//SO₄,HCO₃-H₂O system at 25 °C / L. Soliev, M.T. Jumaev, A.M. Varkaeva, **Kh.R. Makhmadov**, G. Sinoi // *Chimica Techno Acta*. 2019. Vol.6. №4. -PP.130-137.
- [5-M]. **Махмадов, Х.Р.** Таҳлили муқоисавии сохтори комплекси фазагии системаи Na₂SO₄-Na₂CO₃-NaHCO₃-H₂O дар ҳароратҳои 75 ва 100 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, Р.О. Тураев, **Х.Р. Махмадов**, Н.В. Олимҷонова // *Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон: Бахши илмҳои табиӣ*. 2019. № 2. С.179-184.
- [6-M]. **Махмадов, Х.Р.** Фазовый комплекс взаимной системы Na,Ca||SO₄,CO₃-H₂O при 75 и 100 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, **Х.Р. Махмадов**, Д.З. Музафарова, Н.В. Олимджонова // *Доклады АН РТ*. 2020. Т.63. №9-10. С.618-625.
- [7-M]. **Махмадов, Х.Р.** Таҳлили муқоисавии диаграммаи ҳалшавандагии системаи Na,Ca||SO₄,CO₃-H₂O дар ҳароратҳои 0, 25 ва 50 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, **Х.Р. Махмадов**, Д.З. Музафарова, Н.В. Олимҷонова // *Паёми Донишгоҳи омузгорӣ: (Бахши илмҳои табиатшиносӣ)*. 2021. №1(10-11). С.253-257.
- [8-M]. **Махмадов, Х.Р.** Растворимость системы Na₂SO₄-Na₂CO₃-NaHCO₃-H₂O при 75 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, О.Р. Тураев, Н.В. Олимджонова, **Х.Р. Махмадов** // *Известия НАНТ*. 2021. №1(182). С.82-89.
- [9-M]. **Махмадов, Х.Р.** Комплекси фазагии системаи иборат аз сульфатҳо, карбонатҳои натрию калтсий ва об дар муқоиса ба ҳароратҳои 25, 50 ва 75 °C / **Х.Р. Махмадов** // *Паёми Донишгоҳи технологияи Тоҷикистон*. 2022. № 2(49). С.43-50.
- [10-M]. **Makhmadov, H.R.** Formatijn of invariant equilibria in multicomponent systems and determination of solid phase crystallization pathway / L. Soliev, M.T. Jumaev, I.M. Nizomov, **H.R. Makhmadov**, N.V. Olimdzonova, D.V. Muzafarova // *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*. 2022. № 3-4. PP.35-43.
- [11-M]. **Махмадов, Х.Р.** Изотермаи ҳалшавандагии системаи Na,Ca||SO₄,CO₃-H₂O дар 50 °C / М.Т. Жумаев, Л. Солиев, **Х.Р. Махмадов**, Д.З. Музафарова // *Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон: Бахши илмҳои табиатшиносӣ*. 2022. №3. С.248-257.
- Тезисы республиканских и международных конференций:**
- [1-M]. **Махмадов, Х.Р.** Диаграммаи ҳалшавандагии системаи Na,Ca//SO₄,CO₃-H₂O дар ҳарорати 0 °C / **Х.Р. Махмадов**, Л. Солиев, М.Т.Жумаев // *Маводи конференсияи ҷумҳуриявӣ илмӣ-амалӣ дар мавзӯи «Дурнамои инкишофи саноати кимиёи Тоҷикистон»*. Душанбе. 2017. С.69-71.
- [2-M]. **Махмадов, Х.Р.** Концентрационные параметры образования равновесных твёрдых фаз системы Na₂SO₄-Na₂CO₃-NaHCO₃-H₂O при 50 °C / Л. Солиев, М.Т. Джумаев, Р.О. Тураев, **Х.Р. Махмадов** // *Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «III Байкальский материаловедческий форум»*. Улан-Удэ. 2018. С.116-117.
- [3-M]. **Махмадов, Х.Р.** Фазовые равновесия в четырёхкомпонентной системе Na,Ca//SO₄,CO₃-H₂O при 75 °C / Л. Солиев, М.Б. Усмонов, М.Т. Жумаев, **Х.Р. Махмадов** // *Материалы IV международной научной конференции «Вопросы физической и координационной химии»*. Душанбе. 2019. С.359-364.
- [4-M]. **Махмадов, Х.Р.** Растворимость системы Na,Ca//SO₄,CO₃-H₂O при 50 °C / М.Т. Жумаев, Л. Солиев, **Х.Р. Махмадов**, М.Б. Усмонов // *XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии*. 2019. Санкт-Петербург. С.146.
- [5-M]. **Махмадов, Х.Р.** Строение диаграммы фазового комплекса системы Na,Ca||CO₃,HCO₃-H₂O при 50 °C / Л. Солиев, М.Т. Джумаев, Н.З. Ноибова, **Х.Р. Махмадов** // *Сборник статей республиканской научно-теоретической конференции на тему «Основы развития и перспективы химической науки в Республике Таджикистан» 2020*. Душанбе. С. 56-58.

- [6-М]. **Махмадов, Х.Р.** Строеие диаграммы фазового комплекса системы $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ при 75 и 100 °С / М.Т. Жумаев, Л. Солиев, Н.В. Олимджонова, Д.З. Музафарова, **Х.Р. Махмадов** // Материалы IV Всероссийская молодежная научная конференция с международным участием «Экологобезопасные и ресурсосберегающие технологии и материалы». 2020. Улан-Уде. С.69-71.
- [7-М]. **Махмадов, Х.Р.** Равновесные твёрдые фазы четверных невариантных точек системы $\text{Na,Ca||SO}_4,\text{CO}_3,\text{HCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ при 0 °С / М.Т. Жумаев, Л. Солиев, **Х.Р. Махмадов**, Н.В. Олимджонова // Сборник трудов Всероссийский симпозиум и школа-конференция молодых ученых «Физико-химические методы в междисциплинарных экологических исследованиях». 2021. Севастополь. С.262-263.
- [8-М]. **Махмадов, Х.Р.** Комплекси фазагии системаи $\text{Na,Ca||SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ дар хароратҳои 75 ва 100 °С / **Л. Солиев**, **Х.Р. Махмадов**, М.Т. Жумаев, Д.З. Музафарова, Н.В. Олимджонова // Маводи конференсияи байналмилалии илмию амалӣ дар мавзӯи «Проблемаҳои муосири саноати металлургӣ» 2021. Душанбе. С.160-163.
- [9-М]. **Махмадов, Х.Р.** Фазовые равновесия и растворимость в системе $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ при 75 °С / Н.В. Олимджонова, Л. Солиев, М.Т. Жумаев, **Х.Р. Махмадов** // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «IV Байкальский материаловедческий форум». 2022. Улан-Удэ. С.125-126.
- [10-М]. **Махмадов, Х.Р.** Политермаи системаи $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ / **Х.Р. Махмадов** // Маводи конференсияи ҷумҳуриявӣ илмӣ-амалӣ дар мавзӯи «Вазъи кунунӣ ва дурнамое таҳлили физико-химиявӣ». 2023. Душанбе. С.79-82.
- [11-М]. **Махмадов, Х.Р.** Муқоисаи ҳалшавандагӣ дар нуқтаҳои невариантии системаи $\text{Na,Ca||SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ барои диапазонаи 0-50 °С / **Х.Р. Махмадов** // Маводи конференсияи байналхалқӣ дар мавзӯи «Рушди илмҳои химия, технология ва экология». 2023. Душанбе. С. 124-126.

АННОТАТСИЯ

ба рисолаи Маҳмадов Ҳафизулло Раҳматуллоевич дар мавзӯи «Политермаи ҳалшавандагӣ ва комплекси фазагии системаи обӣ-намакии сулфатҳо, карбонатҳои натрию калтсий» барои дарёфти дараҷаи илмии доктори фалсафа (PhD) аз рӯи ихтисоси 6D060601 – химия (6D060601 – химияи ғайриорганикӣ)

Калимаҳои калидӣ: система, компонент, диаграмма, изотерма, политерма, ҳалшавӣ, кристаллизатсия, фазаи моеъ, фазаи сахт.

Объекти таҳқиқоти илмӣ системаи чоркомпонентаи $\text{Na,Ca//SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ ва зерсистемаҳои секомпонентаи $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-CaCO}_3\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$, $\text{CaSO}_4\text{-CaCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ ва системаҳои дукомпонентаи системаҳои секомпонентаро ташкилдиханда мебошанд.

Ҳадафи таҳқиқоти мазкур омӯзиши политермаи комплекси фазагӣ ва ҳалшавандагии системаи аз сулфатҳо, карбонатҳои натрию калтсий ва системаҳои ду ва се компонентаи онро ташкилдиханда, мебошад.

Усулҳои таҳқиқоти рисолаи илмӣ омӯзиши политермаи ҳалшавандагӣ ва комплекси фазагии системаи муовизаи $\text{Na,Ca//SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ ва зерсистемаҳои секомпонентаи онро ташкилкунандаи: $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$; $\text{CaSO}_4\text{-CaCO}_3\text{-H}_2\text{O}$; $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$; $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-CaCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ барои диапазонаи ҳароратҳои 0 -100 °C бо усули транслятсия ва массентрӣ бахшида шудааст.

Навгонии илмии рисолаи доктор (PhD)-и иҷрогардида аз он иборат аст, ки:

- бори аввал бо истифода аз усули транслятсия изотермаи комплекси фазагии системаи $\text{Na,Ca//SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ дар ҳароратҳои 0, 25, 50, 75 ва 100°C омӯхта шуда, диаграммаи сарбастаи онҳо сохта шудааст;

- маротибаи аввал ҳалшавандагии системаи чоркомпонентаи $\text{Na,Ca//SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ омӯхта шуда, диаграммаи ҳалшавандагии онҳо барои изотермаҳои 0, 25, 50 ва 75°C сохта шудаанд;

- политермаи ҳалшавандагии системаи иборат аз сулфатҳо, карбонатҳои натрию калтсий омӯхта шуда, диаграммаи политермии онҳо дар сатҳҳои се ва чоркомпонентагӣ сохта шудааст;

- фрагментатсияи майдонҳои кристаллизатсияи фазаҳои сахт, дар ҳароратҳои овардашуда, амалӣ гардонида шудаанд.

Дараҷаи истифода. Далелҳои ба дастамада оид ба комплекси фазагӣ дар шаклҳои геометрии системаи мазкур, ҳамчун далелҳои маълумотномавӣ барои омӯзиши комплексҳои фазагии системаҳои умумии мураккаби ин системаро дарбаргиранда истифода бурда мешаванд.

Тадбиқи амалии натиҷаҳои таҳқиқот. Натиҷаҳои ба дастамада оид ба политермаи комплексҳои фазагӣ дар шаклҳои геометрии системаи мазкур, барои пешбинӣ кардани роҳҳои кристаллизатсияи намакҳо дар вақти коркарди галлургии ашёҳои табиӣ сульфатӣ карбонатӣ маҳаллӣ, хусусан партовҳои моеъи саноатӣ алюминий истифода мешаванд.

АННОТАЦИЯ

диссертации Махмадова Хафизулло Рахматуллоевича на тему «Политерма растворимости и фазовый комплекс водно-солевой системе, состоящей из сульфатов, карбонатов натрия и кальция» на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 6D060601 – химия (6D060601-неорганическая химия)

Ключевые слова: система, компонент, кристаллизация, диаграмма, жидкая фаза, твердая фаза, изотерма, политерма, растворимость.

Объект научного исследования- система с числом компонентов 4: $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$; и трехкомпонентные подсистемы $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-CO}_3^{2-}\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Na}^+\text{-CO}_3^{2-}\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Ca}^{2+}\text{-CO}_3^{2-}\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ и двухкомпонентные системы, составляющие трехкомпонентные системы.

Цель исследования состоит в изучении политермы фазового комплекса и растворимости системы, состоящей из сульфатов, карбонатов натрия, кальция, двух и трехкомпонентных подсистем.

Методы исследования научной диссертации. Методами трансляции и массцентрии изучены политермы растворимости и фазового комплекса обменной системы $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ и составляющие ее трехкомпонентные подсистемы $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-CO}_3^{2-}\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Na}^+\text{-CO}_3^{2-}\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Ca}^{2+}\text{-CO}_3^{2-}\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ для интервала температур 0,16-100,16 °С.

Научная новизна диссертации доктора (PhD) состоит в том, что:

- впервые методом трансляции изучена изотерма фазового комплекса системы: $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ при температурах 0,16; 25,16; 50,16; 75,16 и 100,16 °С, построена их замкнутая диаграмма;
- изучена впервые растворимость системы с числом компонентов 4: $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$, построены диаграммы их растворимости для изотерм 0,16; 25,16; 50,16 и 75,16°С;
- исследована политерма растворимости системы, состоящей из сульфатов, карбонатов натрия и кальция, построена политермическая диаграмма на уровне трех и четырехкомпонентного составов;
- выполнена фрагментация кристаллизационных полей твердых фаз при указанных температурах.

Степень использования. Полученные результаты по фазовому комплексу в геометрических образах исследованной системы, могут быть использованы как справочные данные для изучения фазового комплекса общих сложных систем. Результаты данного исследования используются в учебном процессе при проведении лекционных и практических, а также специальных курсов по основам физико-химического анализа.

Практическое использование результатов исследования. Полученные результаты по политерме фазового комплекса в геометрических образах изученной системы используются для прогнозирования путей кристаллизации солей во время галургической переработки природных сульфатных и карбонатных местных объектов, в особенности жидких отходов производства алюминия.

ANNOTATION

dissertation of Makhmadov Khafizullo Rakhmatulloevich on the topic "The solubility polytherm and the phase complex of a water-salt system consisting of sulfates, sodium and calcium carbonates" for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in the specialty 6D060601 – chemistry (6D060601-inorganic chemistry)

Key words: system, component, crystallization, diagram, liquid phase, solid phase, isotherm, polytherm, solubility.

The object of scientific research is a system with 4 components: $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$; and three-component subsystems $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-CO}_3^{2-}\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Na}^+\text{-CO}_3^{2-}\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Ca}^{2+}\text{-CO}_3^{2-}\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ and two-component systems constituting three-component systems.

The purpose of the study is to study the polytherm of the phase complex and the solubility of a system consisting of sulfates, sodium carbonates, calcium, two and three component subsystems.

Methods of research of scientific dissertation. Solubility and phase complex polytherms of the $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ || \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ exchange system and its three-component subsystems $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-CO}_3^{2-}\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Na}^+\text{-CO}_3^{2-}\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$, $\text{Ca}^{2+}\text{-CO}_3^{2-}\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ are studied by translation and mass-center methods for the temperature range 0,16-100,16 °C.

The scientific novelty of the doctoral dissertation (PhD) is that:

- for the first time, the isotherm of the phase complex of the system: $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ was studied by the translation method at temperatures of 0,16; 25,16; 50,16; 75,16 and 100,16 °C, their closed diagram was built;
- the solubility of a system with 4 components: : $\text{Ca}^{2+}\text{-Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ was studied for the first time, their solubility diagrams for isotherms were plotted: 0,16 25,16; 50,16 and 75,16 °C;
- the solubility polytherm of a system consisting of sulfates, sodium and calcium carbonates was investigated, a polythermal diagram was constructed at the level of three and four-component compositions;
- fragmentation of crystallization fields of solid phases was performed at the indicated temperatures.

Degree of use. The results obtained on the phase complex in the geometric images of the studied system can be used as reference data for studying the phase complex of general complex systems. The results of this study are used in the educational process during lectures and practical, as well as special courses on the basics of physical and chemical analysis.

Practical use of research results. The obtained results on the polytherm of the phase complex in the geometric images of the studied system are used to predict the ways of salt crystallization during the halurgical processing of natural sulfate and carbonate local objects, especially liquid wastes of aluminum production.