

**ДОНИШГОХИ ДАВЛАТИИ ОМ҃УЗГОРИИ ТОЧИКИСТОН
БА НОМИ САДРИДИН 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 НАТРИЙЮ КАЛTSИЙ**

Диссертатсия барои дараҷаи илмии
доктори фалсафа (PhD) аз рӯи ихтисоси 6D060601 - химия
(6D060601 – химияи ғайриорганикӣ)

Мушовири илмӣ:

Арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон,
доктори илмҳои химия, профессор
Солиев Лутфулло

Роҳбари илмӣ:

Номзади илмҳои химия, дотсент
Жумаев Маъруфжон Тағоймуротович

ДУШАНБЕ - 2023

МУНДАРИЧА

Аломатҳои шартӣ.....	4
Муқаддима	5
.....	
БОБИ I УСУЛҲОИ ОМӮЗИШИ МУВОЗИНАТҲОИ ФАЗАГӢ	
ДАР СИСТЕМАҲОИ ХИМИЯВӢ	10
1.1. Усули тақсимкуни системаҳои химиявии аввалин ба дувумин.....	11
1.2. Усули ситораҳои сингулярӣ.....	12
1.3. Усули блокҳои ягонаи фазавӣ (БЯФ).....	13
1.4. Усули транслятсия.....	14
1.5. Диаграммаи схемавии мувозинатҳои фазагӣ.....	17
Хулосаи шарҳи адабиёт.....	19
БОБИ II. КОМПЛЕКСИ ФАЗАГӢ ДАР СИСТЕМАИ ХИМИЯВИИ МУОВИЗАИ Na^+, $\text{Ca}^{2+} \text{SO}_4^{2-}$, $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$.....	22
2.1. Изотермаи комплекси фазагии системаи Na^+ , $\text{Ca}^{2+} \text{SO}_4^{2-}$, $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар 0 ⁰C.....	29
2.2. Изотермаи комплекси фазагии системаи Na^+ , $\text{Ca}^{2+} \text{SO}_4^{2-}$, $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар 25 ⁰C.....	32
2.3. Изотермаи комплекси фазагии системаи Na^+ , $\text{Ca}^{2+} \text{SO}_4^{2-}$, $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар 50 ⁰C.....	37
2.4. Изотермаи комплекси фазагии системаи Na^+ , $\text{Ca}^{2+} \text{SO}_4^{2-}$, $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар 75 ⁰C.....	41
2.5. Изотермаи комплекси фазагии системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар 100 ⁰C.....	45
2.6. Таҳлили муқоисавии сохтори комплекси фазагии системаи иборат аз сулфатҳо, карбонатҳои натрийо калтсий ташкилёфта дар диапазонаи ҳароратҳои 0-100⁰C.....	50
БОБИ III. ҲАЛШАВАНДАГИИ СИСТЕМАИ ХИМИЯВИИ МУОВИЗАИ Na^+, $\text{Ca}^{2+} \text{SO}_4^{2-}$, $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$.....	53
3.1. Усулҳои омӯзиши ҳалшавандагӣ дар нуқтаҳои нонвариантӣ бо усули транслятсия муқарраргардида.....	53
3.2. Изотермаи ҳалшавандагии системаи Na^+ , $\text{Ca}^{2+} \text{SO}_4^{2-}$, $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар 0 ⁰C.....	57
3.3. Изотермаи ҳалшавандагии системаи Na^+ , $\text{Ca}^{2+} \text{SO}_4^{2-}$,	

CO ₃ ²⁻ - H ₂ O дар 25 °C.....	66
3.4. Изотермаи ҳалшавандагии системаи Na ⁺ , Ca ²⁺ SO ₄ ²⁻ , CO ₃ ²⁻ - H ₂ O дар 50 °C.....	75
3.5. Изотермаи ҳалшавандагии системаи Na ⁺ , Ca ²⁺ SO ₄ ²⁻ , CO ₃ ²⁻ - H ₂ O дар 75 °C.....	84
БОБИ IV. ПОЛИТЕРМАИ ҲАЛШАВАНДАГИИ СИСТЕМАИ ХИМИЯВИИ МУОВИЗАИ Na⁺, Ca²⁺ SO₄²⁻, CO₃²⁻ - H₂O ВА ЗЕРСИСТЕМАХОИ ОНРО ТАШКИЛДИХАНДА.....	...
	101
4.1. Тасвири таранслятсияи изотермаҳо ва политермаи ҳалшавандагии системаи химиявӣ.....	101
4.2. Политермаи ҳалшавандаги системаи Na ⁺ -SO ₄ ²⁻ -CO ₃ ²⁻ -H ₂ O.....	103
4.3. Нуқтаҳои нонвариантии сатҳи чоркомпонента дар политермаи системаи Na ⁺ , Ca ²⁺ SO ₄ ²⁻ , CO ₃ ²⁻ - H ₂ O дар фосилаи ҳароратҳои аз 0 то 100 °C.....	107
Хулоса	115
Тавсияҳо оиди истифодаи амалии натиҷаҳои тадқиқот.....	116
Адабиёти истифодашуда.....	117
Интишорот аз рӯи мавзӯи диссертатсия	128
Замимаҳо	134

АЛОМАТХОИ ШАРТЫ:

1. Мб – мирабилит – $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$;
2. С·1 – термонатрит – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$;
3. С·7 – гептагидрати карбонати натрий – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$;
4. С·10 – натрит (сода) – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$;
5. Те – тенардит – Na_2SO_4 ;
6. Бр – беркеит – $2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$;
7. Сс - калтсит CaCO_3 ;
8. Гб – глауберит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$;
9. Гл – гейлюссит $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$;
10. Пр – пирсонит $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;
11. 5Ca·Na·3 – $5\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$;
12. Гп – гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

МУҚАДДИМА

Мұбрамии мавзұи таққиқот. Системаҳои химиявӣ, аз он چумла системаҳои химиявии обӣ-намакӣ, асоси бисёр объектҳои табиӣ (чинсҳои құхӣ, маъданҳои оксиду намакдошта) ва техникӣ (хұлаҳо, партовҳои саноатӣ) мебошанд. Усули асосии омӯзиши системаҳои химиявӣ - таҳлили физико-химиявӣ мебошад, ки бо ёрии он мөтавонем қонуниятҳои боҳамтаъсиркүни қисмҳои таркибии онҳоро муайян намуда, диаграммаҳои ҳолатӣ ё комплекси фазагиашонро созем. Диаграммаҳои ҳолатии системаҳои химиявӣ ифодай алоқамандии хосиятҳо (халшавандагӣ, гудохташавӣ, барқгузаронӣ, кашиши сатхӣ, зичӣ ва ғ.) ба таъсири омилҳо, аз چумла ҳарорат ва фишор буда, омӯзиши системаҳои мураккаби обӣ-намакӣ яке аз проблемаҳои актуалии химияи ғайриорганикӣ мебошад. Чунин омӯзиш барои муқаррарсозии қонуниятҳои халшавандагӣ 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.

Дараачаи таққиқи мавзұи илмӣ. Назария ва усулҳои таққиқи системаҳои химиявӣ, аз он چумла 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.

Дар баробари ин назария ва усулҳои таққиқи системаҳои химиявӣ маҳсусан системаҳои химиявии бисёркомпонентаи обӣ-намакӣ ба тақмил додан ниёз дорад, чунки то ҳол на ҳамаи паҳлуҳои ин проблемаи мұхим ҳалли худро ёфтааст. Дар корҳои қаблии олимони болозикр системаҳои химиявии $\text{Na}, \text{K}, \text{Mg}, \text{Ca} \parallel \text{SO}_4, \text{Cl}-\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgO}-\text{FeO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, $\text{Na}, \text{Ba} \parallel \text{F}, \text{Cl}, \text{WO}_4$ дар изотермаҳои алоҳида омӯхта шуда, диаграммай онҳо сохта шуда бошад, ҳам, вале то ҳол полимермаи комплекси фазагӣ ва ҳалшавандагии системаи обӣ-намакии таркибан иборат аз сулфатҳо,

карбонатҳои натрийю калтсий омӯхта нашудааст.

Робитаи таҳқиқот бо барномаҳо (лоиҳаҳо) ва ё мавзӯҳои илмӣ.

Диссертатсияи мазкур вобаста ба ичрои нақшай мавзӯи фармоишии «Ҳалшавӣ ва кристаллизатсияи намакҳо дар системаи бисёркомпонентай иборат аз сулфатҳо, карбонатҳо, гидрокарбрнатҳо, фторидҳои натрий, калий ва калсий ташкилёфта» (рақами қайди давлатиаш (№ КД 0119TJ00957 солҳои 2019-2023) ба роҳ монда шудааст.

ТАВСИФИ ҮМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади кори доктор (PhD) – и мазкур омӯзиши политермаи комплекси фазагӣ ва ҳалшавандагии системаи аз сулфатҳо, карбонатҳои натрийю калтсий ва системаҳои ду ва секомпонентай онро ташкилдиҳанда, мебошад.

Барои ичрои ин мақсад корҳои зерин ба анҷом расонида шудааст:

- вазъи омӯзиши системаи химиявии муовизаи иборат аз сулфатҳо, карбонатҳои натрийю калтсий ва системаҳои секомпонентай онро ташкилдиҳанда, барои изотермаҳои 0, 25, 50, 75 ва 100 °C;
- вобаста ба маълумотҳои мувозинатҳои фазагӣ дар системаҳои ду ва секомпонента, омӯзиши комплекси фазагии система се ва чоркомронента барои изотермаҳои 0, 25, 50, 75 ва 100 °C, бо истифодаи усули транслятсия;
- муайянкуни ҳалшавандагии системаҳои химиявии се ва чоркомронентаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+||\text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ барои изотермаҳои 0, 25, 50, 75 ва 100 °C ва соҳтани диаграммаи ҳалшавандагии онҳо;
- таҳқиқи политермаи ҳалшавандагии системаи таркибан иборат аз сулфатҳо, карбонатҳои натрийю калтсий ташкилёфта ва соҳтани, диаграммаи политермии онҳо барои сатҳҳои се ва чоркомпонентагӣ.

Объекти таҳқиқоти илмӣ системаи муовизаи чоркомпонентаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+||\text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$, зерсистемаҳои секомпонентаи $\text{Ca}^{2+}-\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}^{2+}-\text{Na}^+-\text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}^+-\text{CO}_3^{2-}-\text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}^{2+}-\text{CO}_3^{2-}-\text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ ва системаҳои дукомпонентаи системаҳои секомпонентаро ташкилдиҳанда мебошанд.

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

Навғонии илмии рисолаи доктор (PhD) - и иҷротардида дар он асос меёбад, ки:

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

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

- далелҳои бадастомада оид ба комплекси фазагӣ дар майдонҳо, ҳатҳо, 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 натрий, калтсий анионҳои сулфат, карбонатдошта барои пешбинӣ кардани роҳҳои кристаллизатсияи намакҳо дар натиҷаи коркарди галлургии ашёҳои табиии сулфатиу карбонатии маҳаллӣ истифода мешаванд.

Нуқтаҳои ба ҳимояи пешниҳодшавандай 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 $^{\circ}\text{C}$, муайян карда шудааст;
- вобаста ба маълумотҳои мувозинатҳои фазагӣ дар системаҳои ду ва секомпонентагӣ, комплекси фазагии системаи се ва чоркомронента барои изотермаҳои 0,16, 25,16, 50,16, 75,16 ва 100,16 $^{\circ}\text{C}$, бо истифодаи усули трансляция сохта шудааст;
- ҳалшавандагии системаҳои химиявии се ва чоркомронентаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{+}||\text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ барои изотермаҳои 0, 25, 50, 75 ва 100 $^{\circ}\text{C}$, омӯхта шуда, диаграммаи ҳалшавандагии онҳо сохта шудааст;
- полимераи ҳалшавандагии системаи таркибан иборат аз сулфатҳо, карбонатҳои натрийю калтсий ташкилёфта омӯхта шуда, диаграммаи полимерии онҳо барои сатҳҳои се ва чоркомпонентагӣ сохта шудааст.

Дараҷаи эътиимоднокии таҳқиқод. Бо эътиимод 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 гайриорганикӣ, хусусан ба бандҳои асосҳои фундаменталии натиҷаҳои ноилгардии объектҳои химияи гайриорганикӣ ва маводҳо дар асоси онҳо, қобилияти реаксионии пайвастагиҳои гайриорганикӣ дар ҳолатҳои гуногуни агрегатӣ, шароити эксперименталӣ ва алоқаи байни таркиб, сохту хосиятҳои пайвастагиҳои гайриорганикӣ мувофиқат менамояд.

Саҳми шаҳсии муаллиф. Саҳми шаҳсии муаллиф аз таҳлили адабиёти истифодашуда, ба нақшагирӣ ва ичрои тадқиқотҳои назариявию амалӣ, коркард ва хулосабарории натиҷаҳои бадастовардашуда, тайёр ва нашр намудани мақолаҳои илмӣ ва аprobатсияи онҳо иборат аст.

Тасвіб ва амалисозии натицаҳои диссертатсия. Натицаҳои асосӣ ва муҳимтарини иҷрои рисолаи илмии мазкур: дар конферансияҳои солонаи Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон (Душанбе, 2017-2023); конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалии «Перспективы инновационной технологии в развитии химической промышленности Таджикистана» (Душанбе, 2017); конференсияи илмии умумирассиягӣ бо иштирокчиёни байналхалқии «III Байкальский материаловедческий форум» (Улан-Уде, 2018); IV конференсияи байналхалқии «Вопросы физической и координационной химии» (Душанбе, 2019); XXI Сиезди Менделеевӣ оид ба химияи умумӣ ва татбиқӣ (Санкт-Петербург, 2019); конференсияи ҷумҳуриявии хониши Нӯъмоновӣ (Душанбе, 2020); IV-конференсияи олимони ҷавони Умумирассиягӣ бо иштирокчиёни байналхалқӣ (Улан-Уде, 2020); симпозиуми Умумирассиягии олимони ҷавон таҳти унвони «Физико-химическое методы в междисциплинарных экологических исследованиях» (Севастополь, 2021); конференсияи илмию амалии байналхалқии «Проблемаҳои мусоари саноати металлургӣ» (Душанбе, 2021); IV форуми маводшиносӣ Байкал (Улан-Уде, 2022); конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалии «Вазъи кунунӣ ва дурнамои таҳлили физико-химиявӣ» (Душанбе, 2023) ва конференсияи илмӣ-назариявии байналхалқии 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 тақризшавандай рӯйхати КОА назди Президенти ҶТ ва ФР (4 тоаш Scopus) ва 11 фишурдаи маърӯзаҳои конференсияҳои байналхалқию ҷумҳуриявӣ мебошанд.

Ҳаҷм ва соҳтори рисолаи доктор (PhD). Рисола даствависе мебошад, ки дар 133 саҳифа сабт шудааст, аз муқаддима, 4 боб ва хулосаҳо ташкил ёфтааст ва он 28 расм ва 20 ҷадвал, 102 номѓӯи адабиёти истифодашударо дар бар мегирад.

БОБИ I. УСУЛХОИ ОМӮЗИШИ МУВОЗИНАТХОИ ФАЗАГӢ

ДАР СИСТЕМАҲОИ ХИМИЯВӢ

Шарҳи адабиёт

Системаҳои чоркомпонента ва компонентноқиашон аз он зиёдро системаҳои бисёркомпонента меноманд [1]. Чунин мафхум ба имконияти ифодакунии ҳолати системаҳои физико-химиявӣ бо ёрии фигураҳои геометрии андозаи муайяндошта алоқаманд аст. Одатан, системаҳои химиявие, ки аз як то чор компонент доранд бо ёрии фигураҳои геометрии фазои сеченакдор ифода карда мешаванд [1, 2]. Ҳангоми аз чор зиёдшавии шумораи компонентҳо ифодакунии системаи химиявӣ бо ёрии фигураҳои геометрии фазои реалӣ ғайриимкон мегардад. Дар ин ҳолат фигураҳои геометрии бисёрченака дар шакли проексияи онҳо дар фазои сеченака истифода бурда мешаванд [3, 4]. Дар ин ҷода усули массентрии ифодаи системаҳои бисёркомпонента коркард шудааст, ки дар он боз ҳамон системаи бариссентрии координатаҳо, ки Н.С. Курнаков [2] дар корҳояш нишон додааст истифода бурда шудааст, дар ин ҷода ӯ танҳо ба ҷои системаи барисентрӣ бисёркунҷаҳоро истифода намудааст [5].

Маълум аст, ки бо афзудани компонентҳои системаҳои химиявӣ аз се боло, адади зерсистемаҳо дар системаи умумӣ якбора зиёд мешаванд. Аз ин сабаб, шумораи нуқтаҳои таҷрибавии бо ёрии усулҳои маъмули ҳалшавандагӣ ва гудохташавӣ омухташаванда низ зиёд мешаванд. Масалан, дар кори [5] нишон дода шудааст, ки шумораи нуқтаҳои таҷрибавӣ барои омӯзиши бардавоми система, бо ҳисоби 10 нуқта барои як бурриши дугона (двойной разрез) чунин аст: барои системаҳои дукомпонента-10, барои системаҳои секомпонента-111, барои системаҳои чоркомпонента-1113 ва гайраҳо баробар аст, ки чунин рақамҳо танҳо барои нуқтаҳои нонвариантианд, вале дар диаграммаҳои системаҳои химиявӣ гайр аз нуқта боз ҳатҳои моновариантӣ, майдонҳои дивариантӣ низ мавҷуданд.

Бо зиёдшавии адади компонентҳо шумораи шаклҳои геометрӣ (нуқтаҳои нонвариантӣ, хатҳои моновариантӣ, майдонҳои дивариантӣ) низ зиёд мешаванд. Бо сабаби зиёд будани нуқтаҳои нонвариантӣ дар системаҳои бисёркомпонента, фарқият дар таркиби фазаи моеъи он кам мешавад, ки он таҷрибавӣ муайян намудани соҳти диаграммаи мувозинатҳои фазагии системаҳои бисёркомпонентаро дар шакли қисмҳои (фрагментҳои) алоҳидаи он мураккаб мегардонад [6]. Мисол, муаллифони корҳои [7-11] қайд намудаанд, ки омӯзиши ассотсиатҳои фазавии системаи «баҳрӣ» - и $\text{Na}, \text{K}, \text{Mg}, \text{Ca} \parallel \text{SO}_4, \text{Cl}-\text{H}_2\text{O}$ дар 25 °C тавассути усули энергияи минимизатсионии Гиббс то системаҳои химиявии таркибан чоркомпонента имкон медиҳад, вале бо сабаби афзудани компонентнокии система аз он зиёд ба фикри ҳамаи муаллифон натиҷаҳои ноилгашта боварибахш набуда, дар асоси онҳо соҳтани диаграммаҳои ҳолатӣ низ имконнозӣ мебошад.

Муаллифи кори [12] таъкид менамояд, ки «... омӯзиши пурраи диаграммаи ҳолатии системаҳои аз шумораи зиёди компонентҳо иборат буда, аз ҳисоби ҳаҷми калони таҷрибаҳо ғайриимкон аст ва шояд, ки барои ҳалли масъалаҳои дақиқи илмӣ ва технологӣ лозим нашаванд...».

Қайд кардан ба маврид аст, ки усулҳои замонавии омӯзиши мувозинатҳои фазагии системаҳои химиявӣ бисёранд. Аз байнӣ онҳо усули универсалиеро, ки барои ҳалли ҳамаи проблемаҳои дар самти омӯзиши системаҳои бисёркомпонета истифода бурда шавад, ҷудо намудан мумкин нест. Ҳар қадом усули коркардшуда барои ҳалли масъалаҳои мушаҳҳас истифода бурда мешаванд. Як усул дигарашро пурра месозад.

1.1. Усули тақсимкуни системаҳои химиявииаввалин ба дувумин

Усули тақсимкуни системаҳои бисёркомпонентайи аввалин ба дувумин барои омӯзиши системаҳои физико-химиявӣ васеъ истифода бурда мешавад. Тақсимкуни диаграммаи гудохташавӣ ва ҳалшавандагии системаҳои се- ва аз он зиёд компонента, омӯзиши мувозинатҳои фазагии системаҳои аввалинро бо воситаи системаҳои

дувумини нисбатан содда сохташуда дар вақти триангулятсияи системаҳои аввалин ба назар мегирад. Дар ин маврид мавҷудияти ду самти усули триангулятсияро қайд намудан ба маврид аст. Яке аз онҳо омӯзиши системаҳои афзалиятдоштаи мубодилаи оксидӣ [13] мебошад. Самти дувум дар раванди омӯзиши системаҳои мубодилаи намакӣ муқарар гардид, ки дар корҳои [2, 4, 12, 14-16] инкишоф ёфтааст.

Тақсимқунии системаҳои аввалин ба дувумин мувоғиқи кори [13] ҳамон вақте мумкин аст, ки қисмҳои таркибии системаҳои аввалин дар мубодилаи тарафайн пайвастҳои устувори химиявӣ ҳосил намоянд ва онҳо ҳамчун компонентҳои мустақил вучуд дошта тавонанд. Айни замон асоси термодинамикии қатъии триангуляцияи системаҳои дар мубодила набуда мавҷуд нест. Вай ба далелҳои таҷрибавӣ ва ҳисобҳои термодинамикӣ бо истифодабарии машинаи электронии ҳисоббарор (МЭХ) асоснок гардонида мешавад. Ҳисобқуниҳо дар МЭХ, гайр аз донистани фазаҳои сахти дар системаи аввалин мавҷуд буда, далелҳои иловагии бисёро талаб менамояд, ки ин сабаби мушкилоти зиёд мегардад. Шакли пешниҳодшудаи соҳти диаграммаҳои фазагӣ мураккаб буда, яке аз ҳусусиятҳои асосии таҳлили физико-химиявӣ- пешниҳод намудани натиҷаҳои таҳқиқ дар шакли диаграммаҳои мувозинатҳои фазагии хондашаванда, ҳал намегардад [13].

1.2. Усули ситораҳои сингулярӣ

Дигар самти триангулятсияи системаҳои химиявӣ, ки барои омӯзиши системаҳои мубодилаи намакӣ инкишоф ёфтааст, усули ситораҳои сингулярӣ мебошад. Н.С. Курнаков дар корҳои худ [2] ба он асос гузашта, минбаъд дар корҳои [4, 12, 14-16] инкишоф ёфтааст. Усули ситораҳои сингулярӣ ба ифодакунии таркиби системаҳои мубодилаи намакӣ бо ёрии комплекс - фигураҳои мономерӣ асоснок кунонида шудааст. Дар кунҷҳои фигура - комплексҳои намакҳо ҷой гирифта, дар қуллаҳо диагоналӣ системаҳои ҳусусии устувор ва ноустувор ҷой мегиранд.

Тақсимкуний фигураҳои таркиби системаҳои аввалин ба симплексҳо дар асоси ҷадвали индекси қуллаҳо бо истифодабарии назарияи графҳо амалӣ гардонида мешавад. Дар натиҷа триангулятсияи система дар шакли схемаи ситораҳои сингулярӣ пешниҳод мегарданд, ки аз элементҳои бархуранд ва ячейкаҳои дувумин иборатанд. Агар система дар асоси диагоналҳои устувор тақсим шавад, ситора аз элементҳои устувори ҳамдигарро бурранда ва ячейкаҳои усутувори барандаҳои нуқтаҳои эвтектиқӣ иборат мешавад. Агар система дар асоси диагоналҳои ноустувор тақсим шавад, ситора аз элементҳои ноустувори ҳамдигарро бурранда ва ячейкаҳои ноусутувор иборат аст.

Бурриши тарафайни ситораҳои сингулярӣ ва гайрисингулярӣ шакли конверсияро ҳосил менамояд. Вай самти реаксияи мубодилаи тарафайнро дар система муайян менамояд. Фигураи конверсия нуқта, хат, секунча ва ғайраҳо буда метавонанд. Фигураи конверсияи системаҳои дараҷаи олий дар таркиби худ фигураи конверсияи системаҳои дараҷаи оддиро доранд. Фигураи конверсияҳо бо усулҳои геометрӣ, термохимиявӣ ва метрикӣ муайян карда мешаванд [12].

1.3. Усули блокҳои ягонаи фазагӣ (БЯФ)

Аз ҷониби А.С. Трунин [17-22] методологияи комплексии омӯзиши баҳамтаъсиркуний химиявӣ ва мувозинатҳои гетерогенӣ дар системаҳои гудоҳтаи бисёркомпонентаи муовизаи намакӣ пешниҳод карда шуд. Методология, дифференсияқунонии ҳамаи маълумотҳои аввала ва дар натиҷаи таҷриба бадастомадаро дар як сатҳи ахборотӣ дарбар мегирад, ки аз рӯи ҳаҷм ва мазмун аз ҳамдигар фарқ карда, мантиқан бо ҳамдигар дар як комплекс алоқаманданд. Дар ҳудуди ҳар кадом сатҳ, бо истифодаи далелҳои мавҷуда ва нави бадастомада алгоритмҳо тартиб дода мешаванд. Аз тарафи вай инчунин усули таҷрибии муайян кардани нуқтаи нонвариантӣ дар асоси дифференсияи диаграммаи таркиб ба блоки ягонаи фазагӣ пешниҳод гардидааст. Зери мағҳуми блоки ягонаи фазагӣ, қисмҳои таркибие фаҳмида мешаванд, ки аз гудоҳта комплекси муайянни фазаҳои саҳт ҷудо

мешаванд. Тақсимкуни пешакии диаграммаи блоки ягонаи фазагӣ ёфтани нуқтаҳои нонвариантро осонтар мекунад. Ин усул барои таҳқиқи системаҳои компонентнокиашон аз 5 зиёд истифода бурда шавад ҳам, аммо усулҳои термографӣ ва таҳлили рентгенофазагии таҳлил, ки барои хондани фазаҳои саҳти дар мувозинатбуда истифада мебаранд, эфекти кам медиҳанд.

1.4. Усули транслятсия

Дар солҳои 80-уми қарни гузашта, барои ҳалли мушкилоти дар назди илмҳои асосҳои таҳлили физико-химиявӣ вучуддошта усули транслятсия коркард шуд, ки он ба яке аз принципҳои асосии таҳлили физико-химиявӣ – принсипи ҳамгири (мутобиқат) – и элементҳои сатҳи зерсистемаҳои **n**-компонентаи система бо элементҳои сатҳи системаи умумии физико-химиявии (**n+1**) компонентаро дар як диаграмма асоснок менамояд. Тӯли даҳсолаи охир ин усул-усули мутлақо нав ҳисобида шуда, дар саҳифаҳои маҷаллаҳои илмии марказӣ, ҷаласаҳо ва симпозиумҳои илмии байналхалқӣ васеъ муҳокима гардидааст. Реалий будани ин усулро барои соҳтани диаграммаи мувозингатҳои фазагӣ ва комплекси фазагии системаҳои бисёркомпонента ҳанӯз Н.С. Курнаков қайд намуда, гуфта буд «...ҳар як диаграммаи мувозинатҳои фазагии системаҳои бисёркомпонентаро, ҳамчун маҳсули диаграммаи системаи адади ками компонентдошта, ки бо иловакуни компоненти нав соҳти худро мураккаб намудааст, дида баромадан мумкин аст, бо назардошти он, ки элементҳои характерноки он гум нашуда аз як шакл ба шакли дигари геометрӣ мегузаранд...» [2]. Ин нуқтаи назар минбаъд дар корҳои [5, 22-24] исбот кунонида шуданд.

Хусусияти асосии бо усули транслятсия пешбини намудани мувозинатҳои фазагии системаҳои химиявӣ дар он аст, ки хосиятҳои топологии шаклҳои (фигураҳои) геометрии системаҳои оддӣ (хусусӣ) ва шаклҳои геометрии системаи мураккаб (умумӣ) истифода шуда, онҳо дар як диаграмма ҷойгир мешаванд. Файр аз ин, дар ин маврид диаграммаи

комплекси фазагӣ сохта мешавад, ки қисми таркибӣ ва мустақили диаграммаи ҳолатӣ мебошад. Ин гузариш имконият медиҳад, ки диаграммаҳои схемагии мувозинатҳои фазагии системаҳои компонентнокиашон зиёд низ сохта шаванд.

Дар назар дошта мешавад, ки ҳангоми аз системаи оддии **n** компонента бо илова намудани компоненти минбаъда ҳосилшавии системаи умумии мураккаби **(n+1)** компонента, зиёдшавии андозаи элементҳои геометрӣ ба назар мерасад, ки дар натиҷа нуқтаҳои нонвариантӣ ба ҳатҳои моновариантӣ, ҳатҳои моновариантӣ ба майдонҳои дивариантӣ, майдонҳои дивариантӣ ба ҳаҷмҳо ва ғайраҳо табдил меёбанд. Шаклҳои геометрии системаҳои **n** компонента ҳангоми транслятсия ба сатҳи системаи умумии **(n+1)** компонента ба ҳамдигар воҳӯрда, шаклҳои геометрии системаи уммии **(n+1)** компонентаро ҳосил мекунанд. Мисол: нуқтаи нонвариантӣ ҳатҳоро, ҳатҳо майдонҳоро ва майдонҳо бошанд ҳаҷмҳоро ҳосил намуда, диаграммаи сарбастаи системаи умумиро ташкил медиҳанд.

Мувозинатҳои фазагии шаклҳои геометрии имконпазир дар системаҳои бисёркомпонента ба тартиби даркори [25] муқараршуда пешбини мегарданд. Дар асоси қоиди фазаҳои Гиббс расиши шаклҳои геометрӣ ҳамон вақте амалӣ мегардад, ки агар онҳо аз ҳамдигар бо як фаза фарқ кунанд ва дар ин маврид нуқтаҳои нонвариантӣ имконпазири системаи умумӣ бо роҳи математикӣ – бо усули мувофиқӣ муйян карда шаванд. Нуқтаҳои нонвариантӣ системаҳои хусусие мувофиқ меоянд, ки гуногун буда, аз ҳамдигар танҳо бо як фаза фарқ менамоянд. Ин усул шартан транслятсияи «дутарафа» номида мешавад. Дар диаграммаи мувозинати фазагӣ ин гуна нуқтаҳо дар вақти буриши ҳатҳои моновариантӣ системаҳои хусусӣ ифода карда мешаванд. Дар вақти транслятсияи дутарафа гурӯҳи нуқтаҳои нонвариантӣ ҳосил шуданашон мумкин аст, ки таркиби фазаҳои сахташон монанд аст. Дар

изотермаи комплекси фазагӣ онҳо бо як нуқтаҳои нонвариантие ифода мегарданд, ки дар вақти бурриши ду хати моновариантӣ ҳосил шудаанд.

Транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии системаҳои хусусӣ ба сӯи системаи умумӣ ба зиёда аз як самт ғайриимкон аст, чунки ин ба ҳосилшавии ду ва зиёда хатҳои моновариентие оварда мерасонад, ки таркиби фазагии якхела доранд ва ин муҳолифи яке аз принсипҳои муҳимтарини таҳлили физико-химиявӣ, принсиipi мувофиқат (соответствия) ба шумор меравад.

Муайянкуни нуқтаҳои нонвариантии системаи умумӣ аз ҳисоби мувофиқои нуқтаҳои нонвариантии ҳамон як системаи хусусӣ мумкин нест, чунки фазаи сахти дар ин маврид ҳосилшаванда ҳамаи компонентҳои системаи умуниро дар таркибаш надорад. Ғайр аз ин, чунин мувофиқои ба он оварда мерасонад, ки дар яке аз нуқтаҳои новариантии системаи умумӣ фазаҳое дар мувозинат буда метавонанд, ки таркиби хусусии ягон пайвастагии мураккаб буда, мустақилона вучуд дошта метавонад. Нуқтаҳои нонвариантии системаҳои хусусие, ки аз дигар системаҳои хусусӣ барои мувофиқӣ ҷуфти худро наёфтанд, бо тартиби «яктарафа» тарнслятсия мешаванд. Дар диаграммаи комплекси фазагӣ онҳо бо як нуқтаҳои нонвариантие ифода мегарданд, ки бо бурриши як хати моновариантии системаҳои хусусӣ ва хатти моновариантии дар байни нуқтаҳои новариантии системаи умумӣ гузаранда ҳосил шудаанд.

Дар диаграммаи комплекси фазагӣ нуқтаҳои нонвариантие ҳосил шуданашон мумкин аст, ки ҳангоми бурриши ду хати моновариантии дар байни нуқтаҳои нонвариантии системаи умумӣ гузаранда пайдо шаванд. Нуқтаҳои нонвариантие, ки бо ин усул ҳосил шудаанд, шартан транслятсияи «мобайнӣ» номида мешаванд.

Хатҳои моновариантии диаграммаҳои комплекси фазагии системаҳои бисёркомпонента, мувафиқи корҳои [24, 25], пайдоиши духела доранд. Яке аз онҳо дар натиҷаи транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии системаҳои ҷузъӣ ба системаи умумӣ ҳосил шаванд,

дигарашон нуқтаҳои нонвариантии системаи умумиро бо ҳам мепайванданд. Ҳамин хел типи якуми хатҳои моновариантро чунин пешбинӣ намудан мумкин аст: онҳо шакли транслятсияшудаи нуқтаҳои нонвариантии системаҳои ҷузъӣ ба сӯи системаи умумӣ мебошанд. Типи дуюми хатҳои моновариантӣ дар вақти сохтани диаграммаи комплекси фазагии системаи умумии компонентнокиашон зиёд ҳосил шуда, дар байни нуқтаҳои нонвариантии системаи умумӣ мегузаранд.

Мувофиқи усули транслятсия майдонҳои дивариантии системаҳои бисёркомпонента, дар вақти транслятсияи хатҳои моновариантии системаҳои таркибӣ ба ҳудуди системаи умумӣ ва маҳдудкуни онҳо бо хатҳои моновариантии дар байни нуқтаҳои нонвариантии системаи умумӣ гузаранда ҳосил мешаванд.

1.5. Диаграммаи схемагии мувозинатҳои фазагӣ

Бо зиёдшавии адади компонентҳои система дар диаграмма, аз ҳисоби зиёдшавии адади шаклҳои геометрие, ки ҳолати мувозинати системааро акс менамоянд мураккаб мешаванд. Якҷоя бо ин дар вақти омӯзиши системаҳои бисёркомпонента, аксар вақт барои муайян намудани мавқеи шаклҳои геометрӣ дар асоси бузургихое, ки координатаи онҳоро дар диаграмма муайян менамоянд, эҳтиёҷ намемонад. Дар ин мавридҳо сохтори системааро бо диаграммаҳои схемагии мувозинатҳои фазагӣ ифода намудан кифоя аст. Дар ин диаграммаҳо шаклҳои геометрӣ бе назардошти бузургихои координатҳояшон ворид карда мешаванд. Танҳо ҷойгиршавии тарафайни нуқтаҳои нонвариантӣ дар сатҳи таркибе, ки хатҳои моновариантии аз байни онҳо гузаранда дар ҳамин сатҳи компонентнокӣ доранд, нигоҳ дошта мешаванд.

Аввалин кӯшишҳои тасвири схемавии мувозинатҳои фазагии системаҳои бисёркомпонента (масалан «системаҳои намакӣ») дар кори [25], бе усули асосноккунии назариявӣ, оварда шудаанд. Асосноккунии назариявии чунин системаҳо дар кори [5] оғоз ёфта, дар корҳои [23-26] инкишоф ёфтаанд. Ифода гардидааст, ки зимни истифодабарии

диаграммаҳои схемавӣ дар асоси усули транслятсия, инчунин имконияти ифодакуни нуқтаҳои нонвариантии системаҳои хусусии таркибӣ ва умумӣ - майдонҳои ҳалшавандагӣ вобаста аз сатҳи компонентнокии система имконпазир мегардад. Бо ёрии чунин диаграммаҳои схемавӣ таҳлили ҷойгиршавии тарафайни шаклҳои геометрӣ дар сатҳҳои гунгуни варианtnокӣ мумкин буда, роҳҳои имконпазири кристаллизатсияи фазаҳои саҳт дар вақти буғронкуни изотермии ҳалқунанда ё хунуккунни омехтаҳо пешбинӣ гардад. Дар ин маврид мумкин аст, ки соҳтори системаҳои бисёркомпонента дар як чанд расмҳо (нақшаҳо), ки мувозинатҳои фазагиро дар сатҳи гуногуни таркибӣ ифода менамоянд, тасвир гарданд ва дар мавриди зарурӣ ба ҷузъҳои (фрагментҳои) алоҳида ҷудо гарданд.

Соҳтани диаграммаи схемавии мувозинатҳои фазагии системаҳои бисёркомпонента бо усули транслятсия якчанд зиннаро дар бар мегирад, ки асоситаринашон инҳоянд:

- соҳтани густара (развёртка) - и қисми намакии системаи таҳқиқшавандай (**n+1**) дар ҳудуди системаи **n**- компонента;
- бо мақсади муттаҳидсозии майдонҳои яхелаи системаҳои хусусии **n**-компонента ва истифодабарии ин густара дар сатҳи (**n+1**) компонента, дар шакли схема пешниҳод намудани он;
- тасвиркуни шаклҳои геометрии сатҳи (**n+1**) компонента дар схемаи густара.

Дар кори [26] намунаи соҳтани диаграммаи схемагии мувозинатҳои фазагии системаҳои бисёркомпонента бо усули транслятсия дар системаи панҷкомпонентаи обӣ-намакӣ оварда шудааст. Умуман, дурнамоии усули транслятсия барои соҳтани диаграммаи схемавии мувозинатҳои фазагии системаҳои бисёркомпонента дар системаҳои обӣ-намакӣ [27-45] ва оксидӣ [46-51] исбот шуда, аз тарафи мутахассисони соҳаи омӯзиши системаҳои бисёркомпонента баҳои баланд гирифтааст ва дар онҳо мувозинати фазагии системаи обӣ-

намакии шашкомпонентаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^-, \text{F}^-$ - H_2O бо зерсистемаҳояшон омухта шудаст. Оид ба ҳалшавандагӣ, шароитҳои ҳосилкунии моддаҳои химиявӣ, омӯзиши мувозинатҳои фазаги дар системаҳои баҳрӣ вобаста ба ҳашавандагиашон, ҳосиятҳои физико-химиявии системаҳои химиявӣ, усулҳои коркарди замонавии намакҳои табиии калийдор, политермаи ҳалшавандагии системаи $\text{Na}, \text{K}, \text{Mg}/\text{SO}_4, \text{Cl}-\text{H}_2\text{O}$, таҳлили физико-химиявии системаҳои гайриорганикӣ ва ғ. дар корҳои мо ва дигар олимони соҳаи мазкур [52-71] муфассалтар оварда шудааст.

Хуносай шарҳи адабиёт

Таҳлили адабиёти мавҷуда оид ба омӯзиши системаҳои химиявӣ нишон дод, ки усулҳои зиёди омӯзиши системаҳои химиявӣ мавҷуд аст, ки болотар муҳокима гардиданд. Аз натиҷаҳои таҳлил бармеояд, ки аксари онҳо ин ё он авзалиятро дошта бошанд ҳам, наметавонанд, ки дар бораи қонуниятҳои мувозинатҳои фазагии системаҳои химиявӣ маълумоти пурра диханд. Аз усулҳои номбаршуда - усули транслятыя дурнамои бештар дошта, аз он бармеояд, ки мувофиқи принсипи мувофиқат (мутобиқат) ҳамагуна системаҳои химиявӣ аз қисмҳои ҷузъӣ ва умумӣ ташкил ёфта, онҳо метавонанд дар як диаграмма ҷойгир карда шаванд.

Мутобиқ ба усули транслятыя зимни ба системаи ҷузъии **n**-компонента зам намудани компоненти навбатӣ ва табдилёбии он ба системаи **n+1** компонента элементҳои геометрии системаҳои ҷузъии **n**-компонента андозаашонро ба як воҳид зиёд меқунанд ва ба сатҳи **n+1** компонентагӣ транслятыя (интиқол) мешаванд. Дар сатҳи **n+1** компонента шаклҳои (элементҳои) геометрии транслятыя шуда, мутобиқ ба ҳосиятҳои топологиашон ва қоиди фазаи Гиббс, элементҳои гиометрии ин сатҳи умумиро ба миён меоранд. Махсусан, барои омӯзиши мувозинатҳои фазагии системаҳое, ки компонентнокиашон аз 5 зиёд аст ва барои ифодай ҳолати ин системаҳо фигураҳои ҳақиқии

геометрī мавчуд нестанд, истифодабарии усули транслятсия бомаврид аст, чунки дар вақти омӯзиши системаҳои бисёркомпонента, аксар вақт барои муайян намудани мавқеи шаклҳои геометрī дар асоси бузургихое, ки координатаи онҳоро дар диаграмма муайян менамоянд, эҳтиёҷ намемонад. Дар ин мавридҳо сохтори системаро бо диаграммаҳои схемавии мувозинатҳои фазагӣ ифода намудан кифоя аст. Дар ин диаграммаҳо шаклҳои геометрī бе назардошти бузургихои координатҳояшон ворид карда мешаванд. Танҳо ҷойгиршавии тарафайни нуқтаҳои нонвариантӣ дар сатҳи таркибе, ки хатҳои моновариантӣ аз байни онҳо гузаранда дар ҳамин сатҳи компонентнокӣ доранд, нигоҳ дошта мешаванд. Бо ёрии чунин диаграммаҳои схемавӣ таҳлили ҷойгиршавии тарафайни шаклҳои геометрī дар сатҳҳои гунгуни вариантнокӣ мумкин буда, роҳҳои имконпазири кристаллизатсияи фазаҳои саҳт дар вақти буғронкуни изотермии ҳалкунанда ё хунуккунии омехтаҳо пешбинӣ гардад. Дар ин маврид мумкин аст, ки сохтори системаҳои бисёркомпонента дар як чанд расмҳо (нақшаҳо), ки мувозинатҳои фазагиро дар сатҳи гуногуни таркибӣ ифода менамоянд, тасвир шаванд ва дар мавриди зарурӣ ба ҷузъҳои (фрагментҳои) алоҳида ҷудо гарданд. Бо ёрии чунин диаграммаҳои схематикӣ таҳлили ҷойгиршавии тарафайни шаклҳои геометрī дар сатҳҳои гунгуни вариантнокӣ мумкин буда, роҳҳои имконпазирии кристаллизатсияи фазаҳои саҳт дар вақти буғронкуни изотермии ҳалкунанда ё хунуккунии омехтаҳо пешбинӣ гардад.

Дар асоси гуфтаҳои дар боло оварда шуда дар ин рисола комплекси фазагии системаи ҷоркомпонентай мувиза, қисмҳои таркибии сулфати натрий, карбонати натрий, сулфати калсий, карбонати калсий ва об дорад, бо истифода аз усули транслятсия омӯхта шудааст. Интихоби мавзӯъ на танҳо ба он алоқаманд аст, ки комплекси фазагии системаи мазкур пурра омӯхта шавад, балки аз сабаби он ки ин система яке аз қисмҳои таркибии системаҳои панҷкомпонентай мувизаи обӣ-намакии Na_+ , Ca^{2+} // SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- - H_2O ва шашкомпонентай

$\text{Na, Ca//SO}_4, \text{CO}_3, \text{HCO}_3, \text{F-H}_2\text{O}$ мебошанд. Донистани қонуниятҳои ҳалшавандагӣ ва комплекси фазагӣ дар он ҷойдошта роҳҳои коркарди оптималии конҳои ашёи табиии иборат аз сулфатҳо, карбонатҳо, гидрокарбонатҳои натрийю калтсийдор, хусусан утилизатсияи партовҳои моёни саноатии истеҳсоли алюминийро дар заводи «Алюминийи тоҷик» талаб меқунад.

БОБИ П. КОМПЛЕКСИ ФАЗАГЙ ДАР СИСТЕМАИ ХИМИЯВИИ МУОВИЗАИ $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$

Чи тавре, ки дар боби гузашта қайд намудем усулҳои аньанавии сохтани диаграммаюи мувозинати фазагӣ (гудохташавӣ ва ҳалшавандагӣ) барои таҳқиқи системаҳои физико-химиявии компонентнокиашон зиёд номувофӣ мебошанд. Барои ин мақсад усули транслятсия бештар қобили қабул дониста шуда, он барои ҳамагуна шаклҳои системаҳои химиявӣ, ки аз 3 ва зиёда компонентҳо ташкил ёфтаанд тадбиқшаванд аст. Далелҳои ибтидой барои пешгӯи намудан ва сохтани диаграммаҳои мувозинатҳои фазагии системаҳои **n+1** компонента бо усули транслятсия, сохтори диаграммаюи ҷузъии **n** – компонента мебошад, ки ҷузъюи таркибии системаи умумии **n+1** ҳастанд. Далелҳои сохтори диаграммаҳои ҳузъии системаҳои **n** – компонента метавонанд бо усулҳои гуногун ба даст оварда шуда бошанд.

Амалан ба сифати далелҳои ибтидой, барои сохтани диаграммаҳои мувозинатҳои фазагии системаҳои бисёркомпонента, сохтори диаграммаҳои мувозинатҳои фазагии системаҳои 3 ва 4 компонента шуда метавонанд. Усулҳои сохтани диаграммаҳои 3 ва 4 компонента хуб омӯхта шуда маълуманд. Барои бештари системаҳои 3 ва 4 компонента чунин далелҳо аллакай маълуманд ва диаграммаҳои онҳо сохта шудаанд. Чунин далелҳо дар маълумотномаҳои маҳсус (справочникҳо) оварда шудаанд. Далелҳои боқимондаро, агар ба онҳо зарурат ба миён ояд, бо иҷрои тадқиқотҳои иловагии эксперименталӣ ё ҳисобӣ дастрас кардан мумкин аст. Мо инчунин метавонем барои дарёфти чунин далелҳо тадбиқи усули транслятсияро барои системаҳои 3 ва 4 компонента низ амалий созем. Дар ин ҳолат ягона мамоният дар он

мешавад, ки дар сатҳи **n+1** компонентагӣ имконияти ъосилшавии фазаҳои нави мувозинати чой надошта бошад.

Бояд қайд кард, ки агар ҳосилшавии пайвастҳои аз 3 компонент ташкилёфта бештар маълум бошанд пайвастҳои аз 4 компонент ташкилёфта хеле каманд ва пайвастҳое, ки 5 ва аз ин зиёда компонентҳоро муттаҳид мекунанд умуман номаълум ва ғайриимконанд.

Тадбиқи усули транслятсия барои сохтани диаграммаҳои мувозинатҳои фазагӣ пеш аз ҳама ба муайянсозии миқдор ва таркиби нуқтаҳои нонвариантии сатҳи **n+1** компонента дар асоси далелҳои сатҳи **n** – компонента алоқаманд аст. Нуқтаҳои нонвариантии сатҳи **n+1** компонентаро дар натиҷаи ҷуфткунонии нуқтаҳои нонвариантии сатҳи **n** – компонента меёбанд. Дар ин ҳолат нуқтаҳои нонвариантие ҷуфт мешаванд, ки ба системаҳои ҷузъии гуногун системаи умумиро ташкилдиҳанд дахл доранд. Ҳосилшавии нуқтаи нонвариантро дар системаи **n+1** компонента ҷунин комбинатсияи нуқтањои нонвариантии системаҳои ҷузъии гуногун амалӣ месозад, ки суммаи фазаҳои саҳти мувозинатиашон ба қоиди фазаҳои Гиббс [1] итоат кунанд, яъне аз якдигар бо як фаза фарқ кунанд. Дар ин ҳолат ҳар як нуқтаи нонвариантии сатъи **n** – компонента танъо як маротиба дар ъосилшавии нуқтаи нонвариантии сатҳи **n+1** компонента иштирок мекунад ва ин дар шакли хатти моновариантии аз транслиятсияи он ҳосилшуда амалӣ мегардад.

Нуқтањои нонвариантии сатҳи **n+1** компонента бо се роҳ ҳосил мешаванд: дар натиҷаи вохурии (буриши) хатҳои моновариантие, ки аз транслиятсияи нуқтањои нонвариантай системањои ҷузъии гуногуннома ба миён омадаанд; дар натиҷаи вохурии (буриши) хатти моновариантии аз транслиятсияи нуқтаи нонвариантии системаҳои ҷузъии **n** – компонента ҳосилшуда ва хатти моновариантии байни нуқтаҳои

нонвариантни сатхи **n+1** компонентаи системаи таҳқиқшаванд; дар натиҷаи вохурии (буриши) хатҳои моновариантни сатхи **n+1** компонентаи системаи тадқиқшаванд. Намуди авали нуқтаи нонвариантӣ номи дутарафа (сквозной), намуди дуюм – яктарафа ва намуди сеюм – мобайни ном гирифтаанд.

Диаграммаи ҳолатии системаҳои умумӣ (**n+1**) дар натиҷаи интиқоли шаклҳои (элементҳои) геометрии системаҳои ҷузъӣ (**n**) ва бурриши (вухурии) онҳо дар сатхи умумӣ бо риояи қонунҳои геометрӣ (стериометрӣ) ҳосил мешаванд (ба миён меоянд). Хусусияти интиқоли элементҳои геометрии системаҳои ҷузъии **n** – компонента ба сатхи системаи **n+1** компонента ба ҳосияти системаи омӯхташаванд вобаста мебошад. Азбаски системаҳои физико-химиявӣ бисёранд, бинобар ин дар байни онҳо чунин системаҳое шуданашон мумкин, ки яке аз варианҷҳои буриши (пересечение) элементҳои геометрии системаҳои ҷузъӣ **n** – компонента, дар асоси қонунҳои геометрӣ, принципҳои асосии таҳлили физико-химиявӣ ва қоидай фазаҳо амалӣ мешавад.

Ба ҳар як системаи реалӣ мутобиқ ба принципи мутобиқат як намуди (тартиби) транслиятыя мувофиқат мекунад. Бурриши ду элементи геометрии табиаташ якхелаи системаи **n** – компонента (масалан, хатҳои моновариантӣ) як шакли (элементи) геометрии системаи **n+1** компонентаро (масалан, нуқтаи нонвариантро) медиҳад. Ҳамин тавр вохурии (бурриши) майдонҳои дивариантӣ, хатҳои моновариантӣ ва буриши ҳаҷмҳои **i** – вариантӣ майдонҳои **i** – и дивариантро медиҳанд.

Критерияи (асоси) соҳтори дурусти диаграммаи сатхи **n+1** компонента – ин сарбаста будани ҳаммаи элементҳои геометрии диаграммаҳои системаҳои ҷузъии **n** – компонента ва умумии **n+1** компонента мутобиқ ба талаботҳои принципҳои асосии таҳлили физико-химиявӣ ва қоидай фазаҳо мебошад. Диаграммаҳои дар

асоси ин талаботҳо бо ёрии усули транслятсия дуруст сохта шуда раванди ҳамаи табаддулотҳои фазагиро дар системаи таҳқиқшаванда инъикос меқунад.

Муайянсозӣ ва сохтани диаграммаҳои мувозинатҳои фазагии системаҳои бисёркомпонента бо ёрии усули транслтсия чунин зинаҳоро дар бар мегирад.

1. Дар натиҷаи ҷуфтсозии (сочетание) нуқтаҳои нонвариантии системаҳои гуногунномаи ҷузъии n – компонента нуқтаҳои нонвариантии системаи $n+1$ компонентаро муайян месозанд. Чунин шакли дарёғти нуқтаҳои нонвариантии сатҳи умумии ($n+1$ компонента) системаи таҳқиқшаванда транслиятсияи «дутарафа» (сквозной) ном гирифтааст. Чунин шакли дарёғти нуқтаҳои нонвариантии сатҳи $n+1$ компонента графикӣ дар натиҷаи буриши ҳатҳои моновариантии аз транслиятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи n – коипонента ҳосилшуда амалӣ мегардад. Амалӣ шудани ин шакли транслиятсия бояд ба ҳосилшавии чунин маҷмӯи фазаҳои саҳти мувозинатӣ оварад, ки вай ба қоиди фазаҳои Гиббс итоат кунад. Бинобар ин дар ин шакли транслиятсия нуқтаҳое ҷуфт мешаванд, ки аз якдигар бо як фазаи саҳт фарқ кунанд. Чунин комбинатсияҳо метавонанд аз ду, се ё бисёртар адади нуқтаҳои нонвариантии системаҳои n – компонентаро гуногуннома ташкил ёбанд (вобаста ба компонентнокии системаи таҳқиқшаванда).

2. Нуқтаҳои нонвариантии системаҳои ҷузъии гуногунномаи сатҳи n – компонента, ки барои ҷуфтшавӣ имкон надоштанд ба сатҳи $n+1$ компонентаро системаи таҳқиқшаванда дар шакли яктарафа (односторонняя) транслиятсия мешаванд. Таркиби фазавии нуқтаҳои нонвариантии бо усули авали транслиятсия ҳосилшудаи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи $n+1$ компонента ба таркиби фазавии нуқтаҳои нонвариантии транслиятсияшудаи сатҳи n – компонента, ки $n-2$ фазаи умумӣ бо нуқтаи транслиятсияшавандай сатҳи n – компонента доранд, муқоиса карда мешавад. Бо дарёғти чунин нуқтаҳои сатҳи $n+1$

компонента ба нуқтаҳои транслятсияшудаи сатҳи n - компонента фазаҳеро илова мекунанд, ки дар натиҷаи он нуқтаҳои нонвариантӣ нави сатҳи $n+1$ компонента, ки ҳаммаи компонентҳои ин сатҳро доранд ҳосил шаванд.

3. Таркиби фазавии нуқтаҳои нонвариантӣ бо ҳарду усули транслятсия ёftашударо муқоиса намуда, ҳатҳои моновариантӣ байни онҳоро, мутобиқ ба талаботҳои қоиди фазаҳо, муайян месозанд, яъне бояд байни он нуқтаҳои нонвариантӣ ҳатҳои моновариантӣ гузаранд, ки аз якдигар бо як фаза фарқ мекунанд.

4. Дар асоси таркиби фазавии нуқтаҳои нонвариантӣ бо ҳарду усули транслятсия ёftа шуда ва таркиби фазавии ҳатҳои моновариантӣ байни онҳо ҷойдошта варианти авали диаграммаи мувозинатҳои фазавии системаи бисёркомпонентаи таҳқиқшавандаро месозанд.

5. Дар варианти аввали соҳташудаи диаграммаи сатҳи $n+1$ компонента дар шакли майдонҳо транслятсия шудани ҳатҳои моновариантӣ сатҳи n – компонентаро, дар шакли маҳдудшуда (сарбасташуда), месозанд. Агар майдонҳо сарбаста (маҳдудшуда) набошанд, барои сарбаста шудани онҳо нуқтаҳои транслятсионии шакли «мобайниро» муайян месозанд. Чунин нуқтаҳои нонвариантӣ дар натиҷаи комбинатсияи фазаҳои саҳти нуқтаҳои нонвариантӣ бо ду усули аввала ёftашуда ва дар таркибашон фазаҳои саҳти майдони дивариантӣ сарбаста нашударо дошта, ёftа мешаванд. Одатан, фазаҳои саҳти мувозинатӣ ин майдонҳо дар таркиби нуқтаҳои нонвариантӣ системаҳои n – компонентасе мавҷуд аст, ки ҳатти моноваринтӣ дар шакли майдони дивариантӣ транслятсияшуда онҳоро пайвастӣ мекунад.

6. Дар асоси таркиби фазавии нуқтаҳои нонвариантӣ бо ёрии ҳар се усули транслятсия ёftашуда, инчунин таркиби фазавии ҳатҳои моновариантӣ байни онҳо гузаранда варианти дуюми диаграммаи схемавии системаи бисёркомпонентаи таҳқиқшавандаро месозанд.

7. Дар натицаи таҳлили соҳтори варианти дуюми диаграммаи мувозинатҳои фазавии системаи омӯҳташавандай $n+1$ компонента, нуқтаҳои нонвариантiero муайян месозанд, ки онҳо дар сарбастакунии (маҳдудкунии) элементҳои геометрии системаҳои омӯҳташаванда ширкат надоранд ва онҳоро аз эътибор соқит мекунанд.

8. Таркиби фазавии хатҳои моновариантии ёфташударо, барои такрор нашудани онҳо, муқоиса мекунанд.

9. Мавҷудияти ҳаммаи майдонҳои дивариантии дар натицаи транслятсияи хатҳои моновариантии сатҳи n – компонента ба сатҳи $n+1$ компонентагӣ ҳосилшударо муайян месозанд.

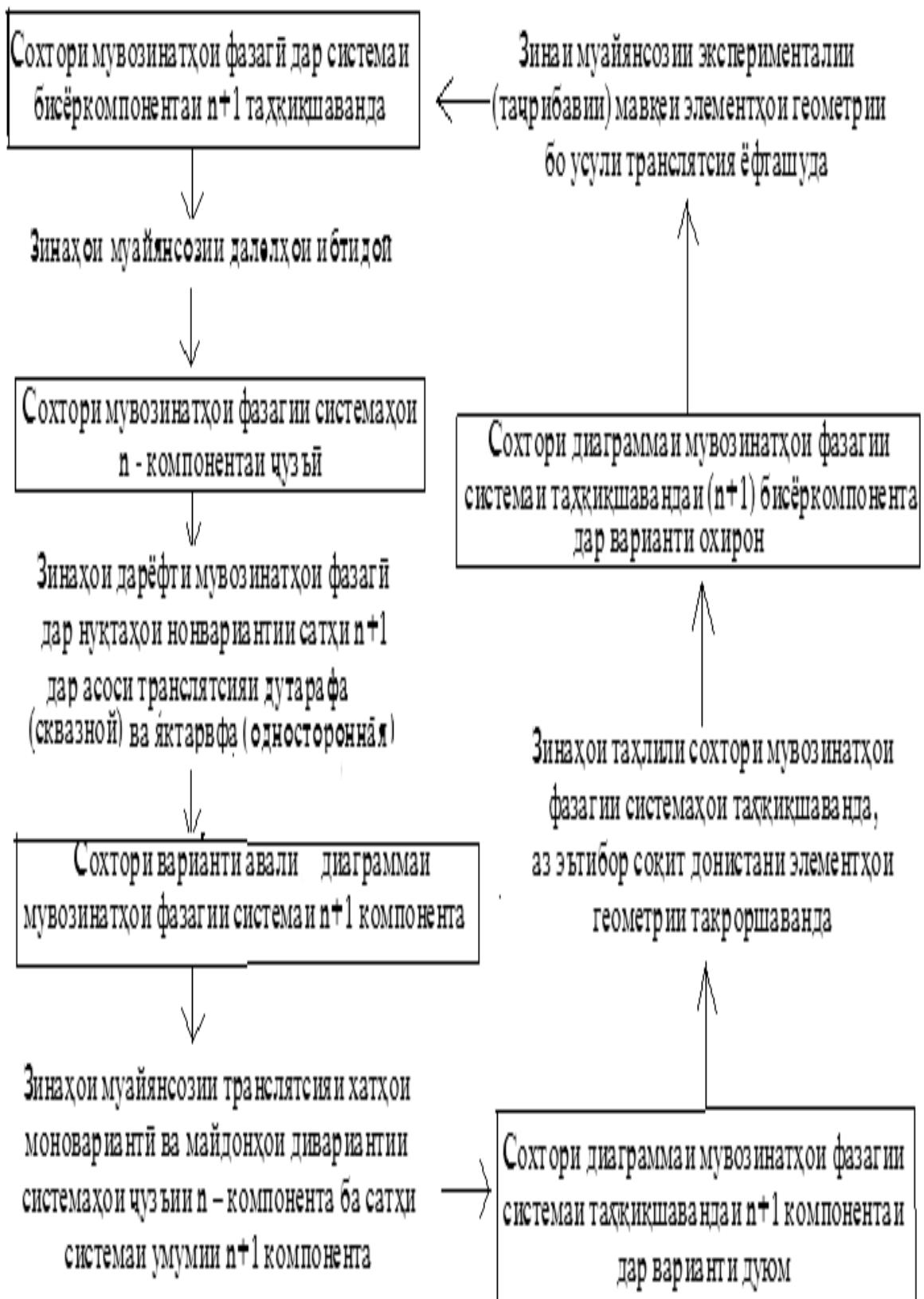
10. Мавҷудияти майдонҳои дивариантии дар сатҳи $n+1$ компонента ҳосилшударо (дар натицаи бо хатҳои моновариантӣ пайвасти кардани нуқтаҳои нонвариантии сатҳи $n+1$ компонента, ки аз якдигар бо як фаза фарқ мекунанд) муайян месозанд.

11. Дар ҳолати ба миён омадани зарурат варианти сеюм ва охирини диаграммаҳои схемегии мувозинатҳои фазагии системаҳои $n+1$ компонентай омӯҳташавандаро месозанд.

Дар расми 1 схемаи моделонидан ва дар расми 2 зинаҳои соҳторӣ диаграммаи мувозинатҳои фазагии системаҳои бисёркомпонента, бо ёрии усули транслятсия, оварда шудааст.



Расми 1. Схемаи моделонидани соҳтори мувозинатҳои фазагии системаи бисёркомпонента бо усули транслятсия



Расми 2. Зинаҳои сохтани диаграммаи мувозинатҳои фазагии системаи бисёркомпонента бо усули транслятсия

Дар ин боб натицаи омӯзиши системаи химиявии мувозизаи Na^+ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$, CO_3^{2-} - H_2O дар изотермаҳои 0, 25, 50, 75 ва 100 $^{\circ}\text{C}$ бо тариқаи транслятсия, ки ҳамчун усули универсиалии омӯзиши системаҳои химиявии биёргомпонентаи эътироф карда шудааст, оварда шудааст. Бо ин мақсад далелҳои ҳалшавандагии (мувозинатҳои фазагии) системаҳои: $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$, ки қисмҳои таркибии системаи чоркомпонентаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{H}_2\text{O}$ мебошанд, истифода карда шуд.

2.1. Изотермай комплекси фазагии системаи

$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{H}_2\text{O}$ дар 0 $^{\circ}\text{C}$

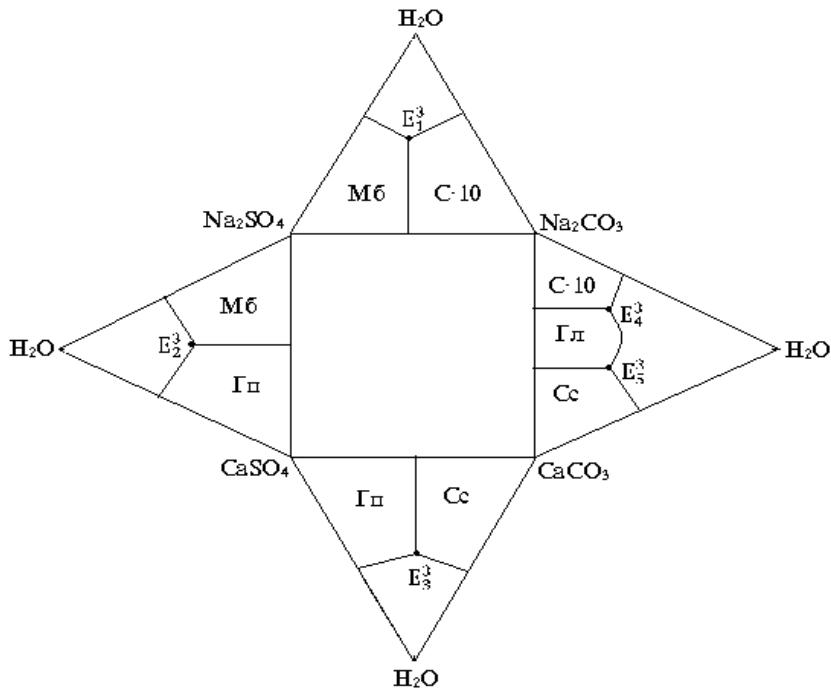
Барои муайян намудан ва сохтани диаграммаи комплекси фазагии системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 0 $^{\circ}\text{C}$ аз далелҳои корҳои [72, 73] мувозинатҳои фазагии нуқтаҳои нонвариантӣ зерсистемаҳои секомпонентаи онро ташкилдиҳанд, истифода карда, муайян намудем, ки он омӯхта нашудааст.

Дар расми 3 пирамидаи кушоди диаграммаи изотермии (ҳарорат 0 $^{\circ}\text{C}$) мувозинатҳои фазагии системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{H}_2\text{O}$, дар сатҳи секомпонентагӣ, дар асоси далелҳои шаклҳои геометрии ҷадвали 1 сохта шудааст.

Ҷадвали 1. Остовҳои координатии системаи химиявии

$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 0 $^{\circ}\text{C}$

Нуқтаҳои нонвариантӣ	Фазаҳои сахти дар мувозинатбуда	Нуқтаҳои нонвариантӣ	Фазаҳои сахти дар мувозинатбуда
Системаи $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$		Системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	
E_1^3	$M\bar{b} + C \cdot 10$	E_2^3	$G\pi + M\bar{b}$
Системаи $\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$		Системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	
E_3^3	$G\pi + Cc$	E_4^3	$C \cdot 10 + G\pi$
		E_5^3	$G\pi + Cc$



Расми 3. Пирамидаи күшоди оствоҳои координатии системаи

$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 0°C

Дар вақти илова намудани компоненти чорум нуқтаҳои нонвариантии сатҳи секомпонента ба сатҳи чоркомпонента транслятсия шуда, нуқтаҳои нонвариантии зерини сатҳи чоркомпонентаро ҳосил мекунанд, ки он бо таври риёзӣ чунин ифода мешавад:

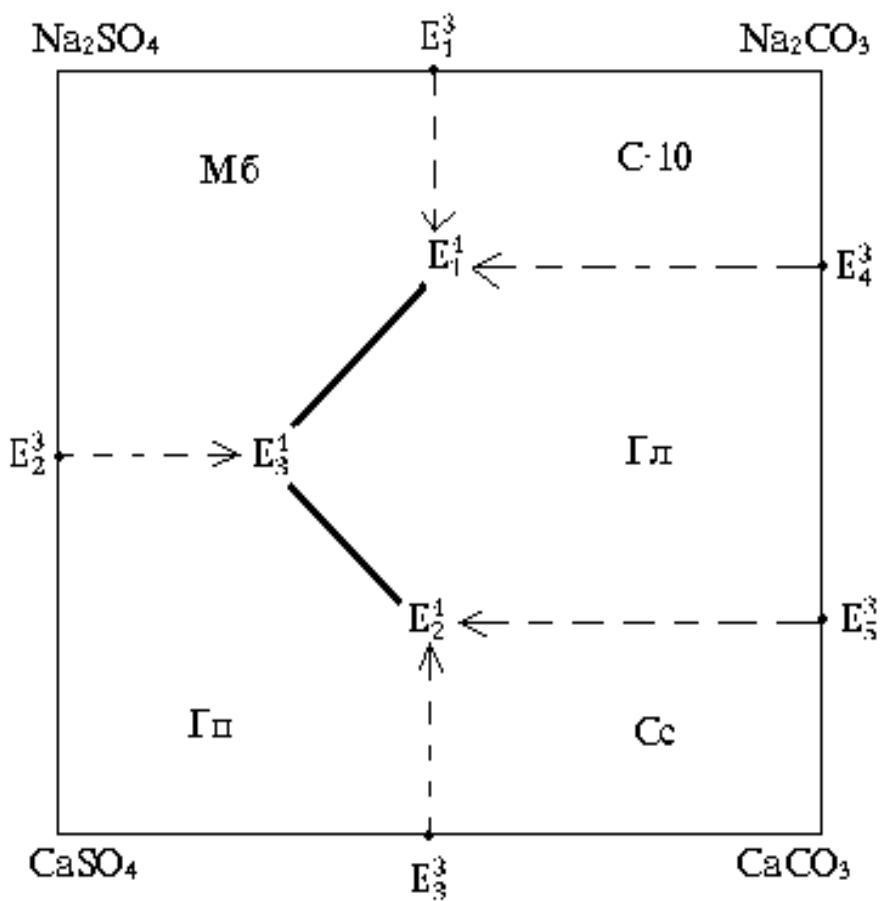
$$E_1^3 + E_4^3 \dashrightarrow E_1^4 = Mб + Гл + C\cdot10;$$

$$E_3^3 + E_5^3 \dashrightarrow E_2^4 = Гп + Гл + Cc;$$

$$E_2^3 + Гл \dashrightarrow E_3^4 = Mб + Гл + Гп.$$

Ҳамин тавр аз 5 нуқтаҳои нонвариантии сатҳи секомпонента 4 тоашон ($E_1^3, E_3^3, E_4^3, E_5^3$) дар шакли «дутарафа» ва яктоашон (E_2^3) бошад дар шакли «яктарафа» [23, 24] ба сатҳи чоркомпонента транслятсия мешавад.

Дар расми 4 диаграммаи схемавии [25] комплекси фазагии системаи чоркомпонентаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ барои 0°C соҳта, оварда шудааст.



**Расми 4. Диаграмма комплекси фазагии системи химиявии
 $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар 0°C**

Чуноне, ки сохти диаграмма ифода менамояд аз 7 хаттҳои моновариантие, ки майдонҳои дивариантии фазаҳои мувозинатии саҳтро маҳдуд кардаанд, 5-тояшон маҳсули транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи секомпонентагӣ ба сатҳи ба сатҳи компонентнокии нарабатӣ мебошанд, ки онҳо дар диаграмма бо хатҳои фосиладор (пунктирӣ) ифода шудаанд. Таркиби фазавии онҳо ба таркиби фазаҳои саҳти дар мувозинатбудаи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи секомпонентагӣ баробаранд. 2-хатти дигари моновариантӣ дар байни нуқтаҳои нонвариантии сатҳи чоркомпонентагӣ гузашта, таркиби фазавии саҳташон чунин аст:

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

Дар диаграмма онҳо бо хатҳои бефосилаи ғавс ишора карда шудаанд. Фрагментатсияи диаграммаи мувозинатҳои фазавии бо усули

транслятсия сохташудаи мазкур дар ҳарорати 0 °C сарҳадҳои зерини майдонҳои дивариантиро нишон медиҳанд (чадв. 2).

Чадвали 2. Фрагментатсияи майдонҳои алоҳидаи системаи

$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 0 °C

Фазаҳои сахти майдони дивриантӣ	Контури майдонҳои диаграмма (расми 2)	Фазаҳои сахти майдони дивриантӣ	Контури майдонҳои диаграмма (расми 2)
Мб	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{\quad} E_1^3$ $E_2^3 \dashrightarrow E_3^4 \xrightarrow{\quad} E_1^4$	Гп	$E_2^3 \dashrightarrow E_3^4 \xrightarrow{\quad} E_2^4$ $\text{CaSO}_4 \xrightarrow{\quad} E_3^3$
Cc	$E_5^3 \dashrightarrow E_2^4$ $\text{CaCO}_3 \xrightarrow{\quad} E_3^3$	Гл	$E_3^4 \xrightarrow{\quad} E_1^4 \leftarrow E_4^3$ $E_2^4 \leftarrow E_5^3$
C·10	$E_1^3 \xrightarrow{\quad} \text{Na}_2\text{CO}_3$ $E_1 \leftarrow E_4^3$		

Натиҷаҳои омӯзиши мувозинатҳои фазавии системаи $\text{Na}, \text{Ca} // \text{SO}_4, \text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ бо усули транслятсия аллакай мавриди муҳокимаи мутахассисон, дар мақолаҳои илмӣ ва конференсияҳо қарор дода шудааст [74, 75].

2.2. Изотермай комплекси фазагии системаи

$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар 25 °C

Системаи химиявии обӣ-намакии иборат аз сулфат, карбонатҳои натрийю калтсий яке аз зерсистемаи мобайни (асосӣ) - и системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- - \text{H}_2\text{O}$ мебошад. Азҳудкуни қонуниятҳои мувозинатҳои фазагии системаи болозикрро идоракунанда барои

ташкили шароитҳои оптималии коркарди партовҳои саноатӣ ё ашёи минералии табиӣ, ки аз сулфатҳо ва карбонатҳои натрийю калтсий ташкил ёфтаанд басо муҳим мебошад. Адабиёти мавҷуда [72, 73] нишон медиҳад, ки системаи химиявии таҳқиқшаванда бо усули ҳалшавандагӣ дар шакли нопурра омӯхта шудааст, бинобар ин далелҳои мавҷудбудаи он имконияти соҳтани диаграммаи ҳолатии системаро намедиҳад. Барои муайянкуни комплекси фазагии системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 25°C мо усули нави омӯзиши системаҳои химиявӣ, усули транслятсияро [24] истифода намудем.

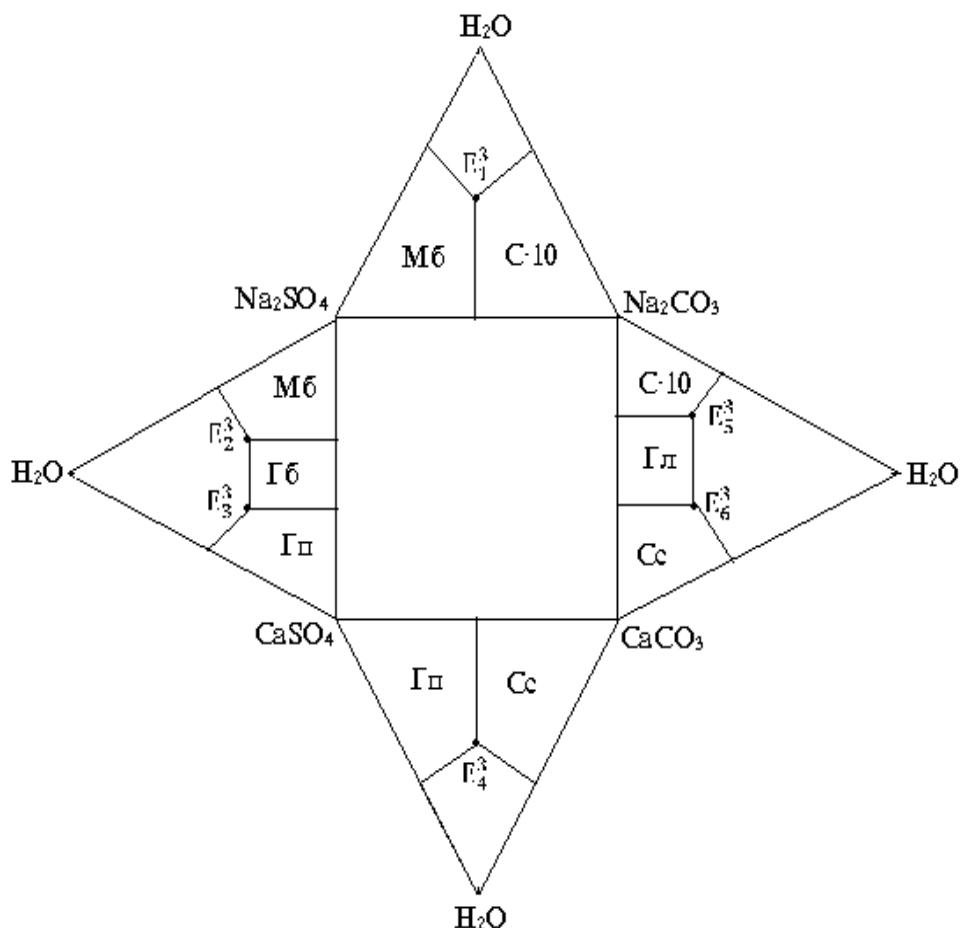
Барои муайян намудани комплекси фазагии системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 25°C бо истифодай усули транслятсия донистани мувозинатҳои фазагӣ дар шаклҳои геометрии системаҳои секомпонентай онро ташкилдиҳанд мухим мебошад. Системаи чоркомпонентай таҳқиқшаванда аз зерсистемаҳои секомпонентай: $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ва $\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ таркиб ёфтаанд.

Нуқтаҳои нонвариантӣ, бо фазаҳои сахти дар мувозинатбудаи системаи мазкур барои сатҳи секомпонентагӣ дар ҷадвали 3 нишон дода шудааст.

**Ҷадвали 3. Мувозинатҳои фазагии нуқтаҳои нонвариантии системаи чоркомпонентай $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар сатҳи секомпонентагӣ
барои ҳарорати 25°C**

Нуқтаҳои нонвариантӣ	Фазаҳои сахти дар мувозинатбуда	Нуқтаҳои нонвариантӣ	Фазаҳои сахти дар мувозинатбуда
Системаи $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$		Системаи $\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	
E_1^3	$M\bar{b} + C \cdot 10$	E_4^3	$G\pi + Cc$
Системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$		Системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	
E_2^3	$M\bar{b} + G\bar{b}$	E_5^3	$C \cdot 10 + G\bar{l}$
E_3^3	$G\bar{b} + G\pi$	E_6^3	$G\bar{l} + Cc$

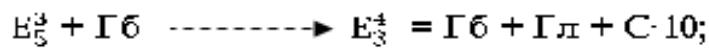
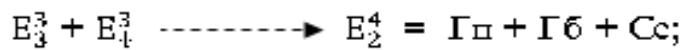
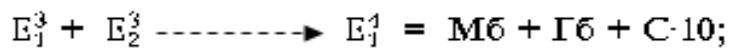
Дар өдөрдли 3 дааны минбаъд ишораходо чунин маъноро доранд: Е – ифодакунандай нүктаи нонвариантай мебошад, ки дарацааш компонентий система ва индексаш рақамгузории нүктахой нонвариантити системаҳои секомпонента аст. Фазаҳои саҳт шартан чунин ишора шудаанд: мирабилит (Мб) – $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$; содаи кристаллизатсионӣ (С·10) – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$; глауберит (Гб) – $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$; гипс (Гп) – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; калтсит (Cc) – CaCO_3 ; гейлюссит (Гл) – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Дар асоси далелҳои өдөрдли 3 диаграммаи оствоҳои координатии системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ барои изотермаи 25 °C дар ҳолати секомпонентагӣ, дар шакли пирамидаи кушода соҳта шудааст (расм. 5).



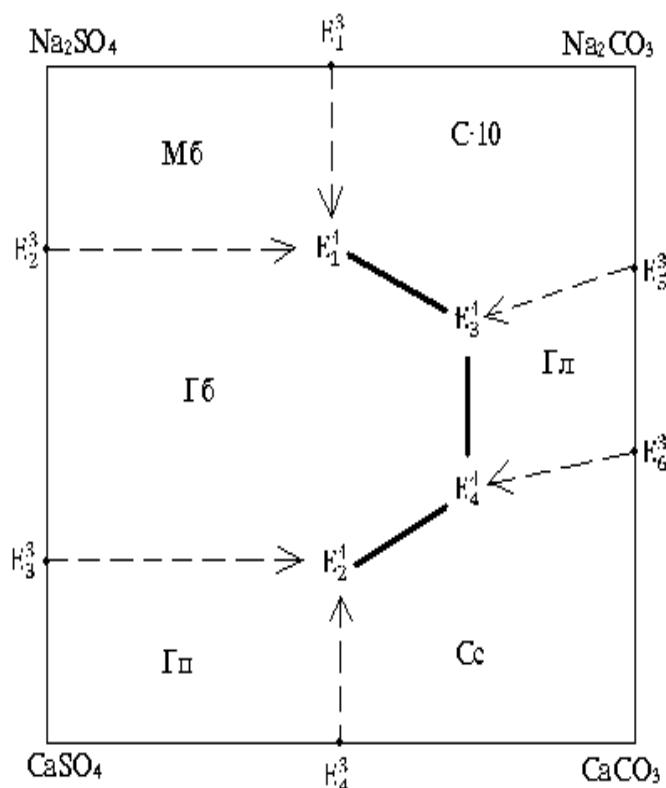
Расми 5. Пирамидаи кушоди оствоҳои координатии системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 25 °C

Интиқоли нүктахой нонвариантити сатҳи секомпонента ба сатҳи компонентнокии навбатӣ, нүктахой нонвариантити сатҳи

чоркомпонентаи зеринро ҳосил мекунанд, ки онҳо дар шакли риёзӣ бо тазри зерин ифода карда мешаванд:



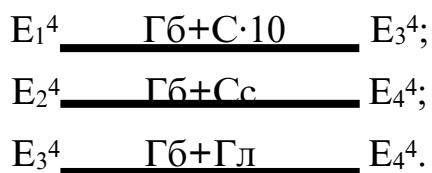
Дар ҳамин асос диаграммаи сарбастаи комплекси фазагии системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ барои изотермаи 25°C сохта шудааст (расм. 6).



Расми 6. Диаграммаи комплекси фазагии системаи химиявии $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар 25°C

Аз сохтори диаграммаи расми 4 аён аст, аз 9-хатти моновариантие, ки майдонҳои фазаҳои стабилии сахти мирабилит, калтсит, глауберит, гипс, гейлюссит содай криссталлизатсионро маҳдуд кардаанд, 6-тоашон зимни гузариши нуқтаҳои нонвариантии зерсатҳи система ба сатҳи навбатӣ ҳосил гардида, дар диаграмма бо хатҳои

фосиладор (пунктирий) ишора шудаанд. Таркиби фазавии онҳо ба таркиби фазаҳои сахти дар мувозинатбудаи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи секомпонентагӣ баробаранд. З-хатти дигари моновариантӣ дар байни нуқтаҳои нонвариантии сатҳи чоркомпонентагӣ гузашта, фазаҳои сахти мувозинатиашон чунин аст:



Дар диаграмма онҳо бо хатҳои бефосилаи гавс ишорат карда шудаанд. Фрагментатсияи диаграммаи мувозинатҳои фазагии бо усули транслятсия соҳташудаи мазкур дар ҳарорати 25°C сарҳадҳои зерини майдонҳои дивариантiro дар бар мегиранд (ҷадв. 4).

Ҷадвали 4. Фрагментатсияи майдонҳои алоҳидаи дивариантии системи

$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 25°C

Фазаҳои сахти майдонҳои дивариантӣ	Контури майдонҳои диаграмма (расми 4)	Фазаҳои сахти майдонҳои дивариантӣ	Контури майдонҳои диаграмма (расми 4)
Мб	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \longrightarrow E_1^3$ ↓ $E_2^3 \dashrightarrow E_1^4$	Гб	$E_2^3 \dashrightarrow E_1^4 \longrightarrow E_3^4$ $E_3^3 \dashrightarrow E_2^4 \longrightarrow E_4^4$
C·10	$E_1^3 \longrightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3$ ↓ $\psi E_1^4 - E_3^4 < \dashrightarrow E_5^3$	Гп	$E_3^3 \dashrightarrow E_2^4$ $\text{CaSO}_4 \longrightarrow E_4^3$
Гл	$E_5^3 \dashrightarrow E_3^4$ $E_6^3 \dashrightarrow E_4^4$	Cc	$E_4^4 < \dashrightarrow E_6^3$ $E_2^4 < \dashrightarrow E_4^3 \xrightarrow{\text{CaCO}_3}$

2.3. Изотермаи комплекси фазагии системаи



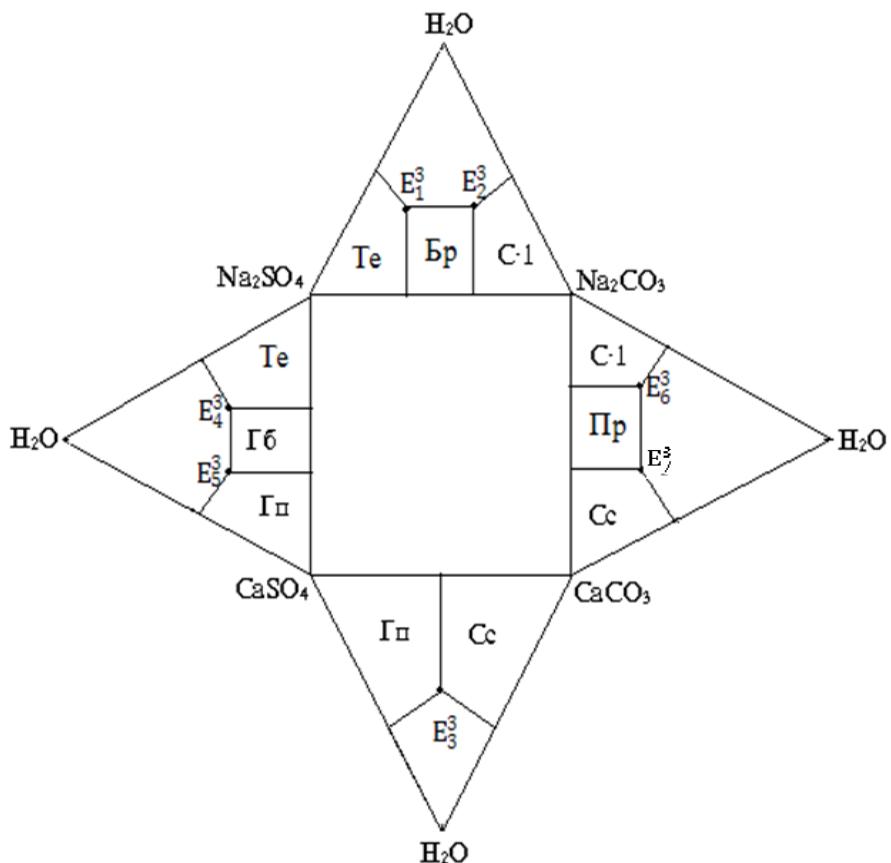
Қонуниятҳои мувозинатҳои фазагии системаҳои химиявии компонентнокиашон зиёд, аз ҷумлаи онҳо системаҳои бисёркомпонентаи обӣ-намакӣ, яке аз муаммоҳои аввалиндарачаи химияи назариявӣ ва тадбиқӣ мебошанд. Системаи химиявии мувизиаи обӣ-намакӣ иборат аз чор компонент, ки аз сулфат, карбонатҳои натрийю калтсий, яке аз баҳшҳои системаи мураккабтари $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^- \text{--} \text{H}_2\text{O}$ мебошад, ки қонуниятҳои комплекси фазагии онро муайянкунанда асоси назариявии коркарди ашёи полиминералии табиии аз карбонатҳо, гидрокарбонатҳо, сулфатҳо, фторидҳои натрийю калтсий ташкилёфта ва партовҳои саноатии ин намакҳои номбаршударо дошта, масалан, партовҳои моёни саноатии истеҳсоли алюминий мебошад. Таҳлили адабиёти мавҷуда [72, 73] нишон медиҳад, ки системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 50°C омӯхта нашудааст ва барои он дар ҳарорати 50°C чунин нуқтаҳои нонвариантӣ бо фазаҳои сахти дар мувозинатбуда хос аст, ки дар ҷадвали 5 ҷамъовардӣ шудааст. Ҳамзамон бояд қайд намуд, ки барои соҳтани диаграммаи комплекси фазагии системаи мазкур зерсистемаи $\text{Ca}^{2+} \text{--} \text{SO}_4^{2-} \text{--} \text{CO}_3^{2-} \text{--} \text{H}_2\text{O}$ бо таври эвтоникий қабул карда шудааст. Нуқтаҳои нонвариантӣ сатҳи секомпонентаи системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{H}_2\text{O}$ бо фазаҳои сахти мувозинатиашон дар ҷадвали 5 ҷамъ оварда шудааст.

Ҷадвали 5. Мувозинатҳои фазагии нуқтаҳои нонвариантӣ системаи чоркомпонентаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар сатҳи секомпонентагӣ барои ҳарорати 50°C

Нуқтаҳои нонвариантӣ	Фазаҳои сахти дар мувозинатбуда	Нуқтаҳои нонвариантӣ	Фазаҳои сахти дар мувозинатбуда
Системаи $\text{Na}^+ \text{--} \text{SO}_4^{2-} \text{--} \text{CO}_3^{2-} \text{--} \text{H}_2\text{O}$		Системаи $\text{Na}^+ \text{--} \text{Ca}^{2+} \text{--} \text{SO}_4^{2-} \text{--} \text{H}_2\text{O}$	
E_1^3	Те+Бр	E_4^3	Те+Гб
E_2^3	Бр+С·1	E_5^3	Гб+Гп

Системаи $\text{Ca}^{2+}\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$		Системаи $\text{Na}^+-\text{Ca}^{2+}-\text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$	
E_3^3	$\Gamma\pi+\text{Cc}$	E_6^3	$\text{C}\cdot\text{l}+\text{Пр}$
		E_7^3	$\text{Пр}+\text{Cc}$

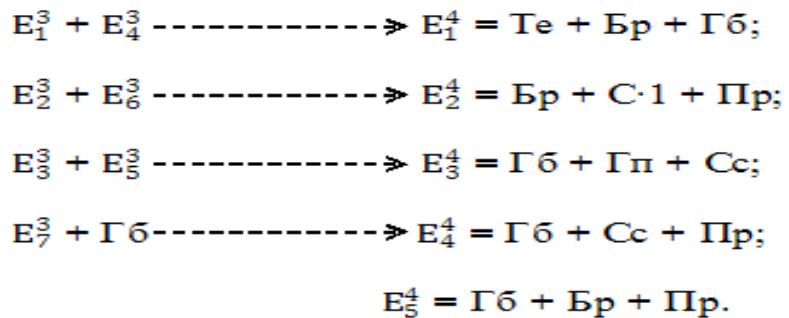
Ишораҳои ҷадвали 5 ҷунин маъноро доранд: тенардит (Те) – Na_2SO_4 ; беркеит (Бр) – $2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$; термонатрит (С·l) – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$; гипс ($\Gamma\pi$) – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; глауберит (Гб) – $\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$; калтсит (Cc) – CaCO_3 ; пирсонит (Пр) – $\text{CaCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Дар асоси далелҳои ҷадвали 5 диаграммаи комплекси фазагии системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар сатҳи секомпонентагӣ, ҳамчун пирамидаи кушода, оварда шудааст (расм. 7).



Расми 7. Пирамидаи кушоди оствҳои координатии системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 50°C

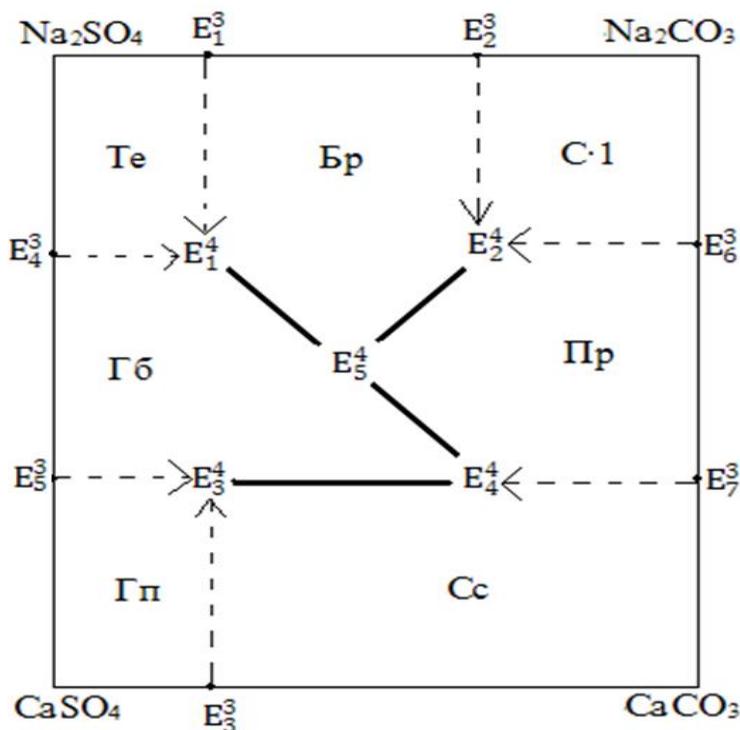
Ҳангоми транслятсияи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи секомпонента ба сатҳи чоркопонента ба пайдошавии ҷунин нуқтаҳои

нонвариантни ин сатх меоваранд, ки онҳо бо таври риёзӣ ба таври зерин ифода мешаванд:



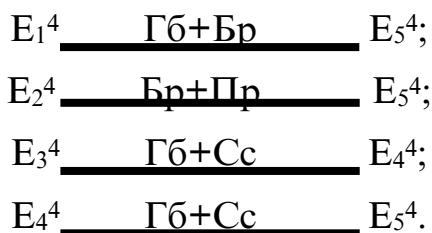
Нуқтаҳои нонвариантни сатҳи чоркомпонентаи якум, дуюм ва сеюм (E_1^4 , E_2^4 ва E_3^4) зимни транслятсияи дутарафаи нуқтаҳои нонвариантни сатҳи секомпонента ҳосил шуда бошад ҳам, нуқтаи нонвариантни чорум (E_4^4) дар натиҷаи транслятсияи яктарафа ҳосил шудааст. Бинобар, сарбаст намудани майдонҳои Br, Gb ва Pr зарурат ба миён омадааст, ки нуқтаи нонвариантни мобайни низ ҳосил шавад.

Дар расми 8 диаграммаи схемавии [25] мувозинатҳои фазагии системаи чоркомпонентаи Na^+ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$, ки барои ҳарорати 50°C сохта, оварда шудааст.



Расми 8. Диаграммаи комплекси fazагии системаи химиявии $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ дар 50°C

Хамин тавр, аз сохтори диаграмма ба назар мерасад, ки аз 11 хаттҳои моновариантие, ки майдонҳои дивариантии фазаҳои мувозинатии саҳтро маҳдуд кардаанд, 7-тоашон зимни интиқолёбии нуқтаҳои нонвариантии зерсатҳи чоркомпонентагӣ ба сатҳи чоркомпонентагӣ ҳосил шудаанд ва дар диаграмма бо хатҳои фосиладор (пунктирӣ) ифода шудааст. Таркиби фазавии онҳо ба таркиби фазаҳои саҳти дар мувозинатбудаи нуқтаҳои нонвариантии сатҳи секомпонентагӣ баробаранд. 4 хатти дигари моновариантӣ дар байни нуқтаҳои нонвариантии сатҳи чоркомпонентагӣ гузашта, фазаҳои саҳти мувозинатиашон чунин аст:

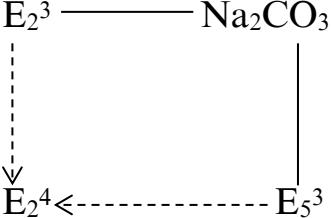
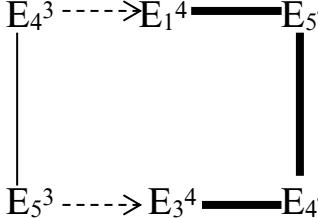
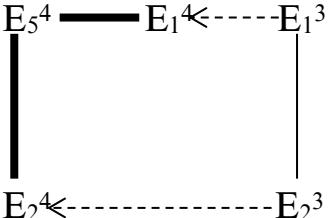


Дар диаграмма онҳо бо хатҳои бефосилаи ғавс ишора карда шудаанд. Фрагментатсияи диаграммаи мувозинатҳои фазагии бо усули транслятыя сохташудаи мазкур дар ҳарорати 50°C сарҳадҳои зерини майдонҳои дивариантро дар бар мегиранд (чадв. 6).

Чадвали 6. Контури майдонҳои дивариантии системи

$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 50°C

Фазаҳои саҳти майдонҳои дивариантӣ	Контури майдонҳои диаграмма (расми 6)	Фазаҳои саҳти майдонҳои дивариантӣ	Контури майдонҳои диаграмма (расми 6)
Te	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \longrightarrow E_1^3$ $E_4^3 \dashrightarrow E_1^4$	$\Gamma\beta$	$E_5^3 \dashrightarrow E_3^4$ $\text{CaSO}_4 \longrightarrow E_3^3$
Cc	$E_7^3 \dashrightarrow E_4^4 \dashrightarrow E_3^4$ $\text{CaCO}_3 \longrightarrow E_3^3$	Pr	$E_5^4 \dashrightarrow E_2^4 \dashrightarrow E_5^3$ $E_4^4 \dashrightarrow E_7^3$

C·1		Гб	
Бр			

Дар изотермаи мазкур комплекси фазагии системаи иборат аз қисмҳои таркибии сулфати натрий, сулфати калтсий, карбонати натрий, карбонати калтсий ва об аввалин маротиба аз ҷониби мо [76, 77] омӯхта шуда дар конференсияҳои илмӣ аз санчиш гузаштааст.

2.4. Изотермаи комплекси фазагии системаи



Тибқи маълумотҳои мавҷуда [72, 73] дар изотермаи 75°C системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ омӯхта нашудааст, ҳол он, ки донистани қонуниятҳои соҳтори комплекси фазагии дар он ҷойдошта барои коркарди ашёи минералии табиӣ ва партовҳои саноатии намакҳои сулфат, карбонатҳои натрийю калтсийдошта хеле зарур аст. Системаи чоркомпонентаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ аз 4 системаҳои секомпонента таркиб ёфтааст, ки инҳоянд: $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ва $\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$. Барои онҳо нуқтаҳои нонвариантни сатҳи секомпонента бо фазаҳои сахти мувозинатии зерин хос мебошанд, ки дар ҷадвали 7 оварда шудаанд.

Ҷадвали 7. Мувозинатҳои фазагии нуқтаҳои нонвариантни системаи

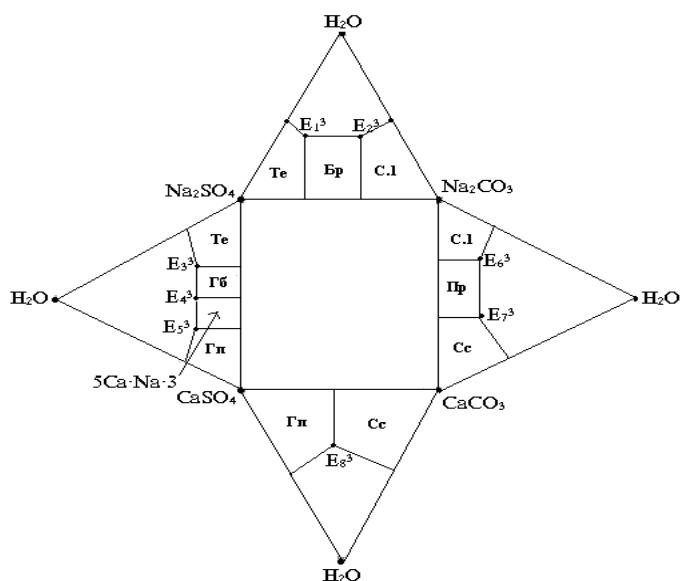
чоркомпонентаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$

дар сатҳи секомпонентагӣ барои ҳарорати 75°C

Нуқтаҳои нонвариантӣ	Фазаҳои сахти дар мувозинатбуда	Нуқтаҳои нонвариантӣ	Фазаҳои сахти дар мувозинатбуда
Системаи $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$		Системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	

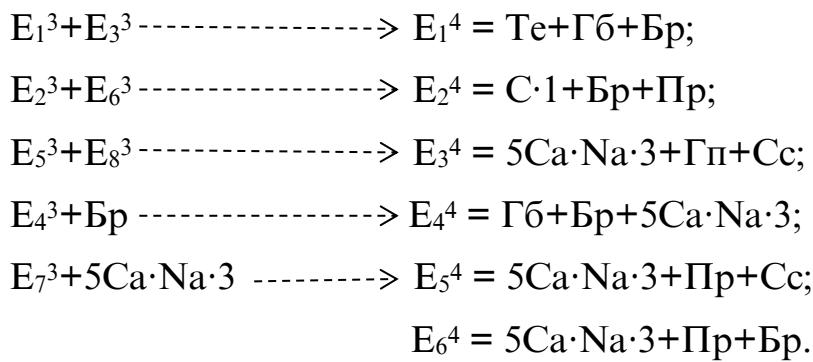
E_1^3	Te+Бр	E_6^3	C·1+Пр
E_2^3	Бр+С·1	E_7^3	Пр+Cc
Системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$		Системаи $\text{Ca}^{2+} \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	
E_3^3	Te+Гб	E_8^3	Cc+Гп
E_4^3	Гб+5Ca·Na·3		
E_5^3	5Ca·Na·3+Гп		

Аз چадвали 7 аён аст, ки барои системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 75°C 7 фазаи сахти мувозинатӣ хос буда, онҳо дар ташакулёбии 8-нуктаи нонвариантии сатҳи секомпонента ширкат менамоянд. Барои фазаҳои сахти мувозинатии چадвали 7 чунин ишораҳои шартӣ қабул карда шудааст: Бр-беркеит- $2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$; Тетенардит- Na_2SO_4 ; $\text{Na} \cdot 1$ -моногидрат карбонати натрий- $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$; Гб-глауберит- $\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$; Гп-гипс- $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; Пр-пирсонит- $\text{CaCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; Сс-калтсит- CaCO_3 . Аз сабаби он, ки фазаҳои сахти дар мувозинатбуда дар системаи чоркомпонента омӯхташаванд дар зиёда аз як системаи секомпонента хосил мешаванд, бинобар ин майдонҳои кристаллизатсияи онҳоро якҷоя намуда дар натиҷа диаграммаи комплекси фазагии онҳо сохта шуд (расм. 9), ки сатҳи секомпонента буда, дар шакли призмаи кушода оварда шудааст.



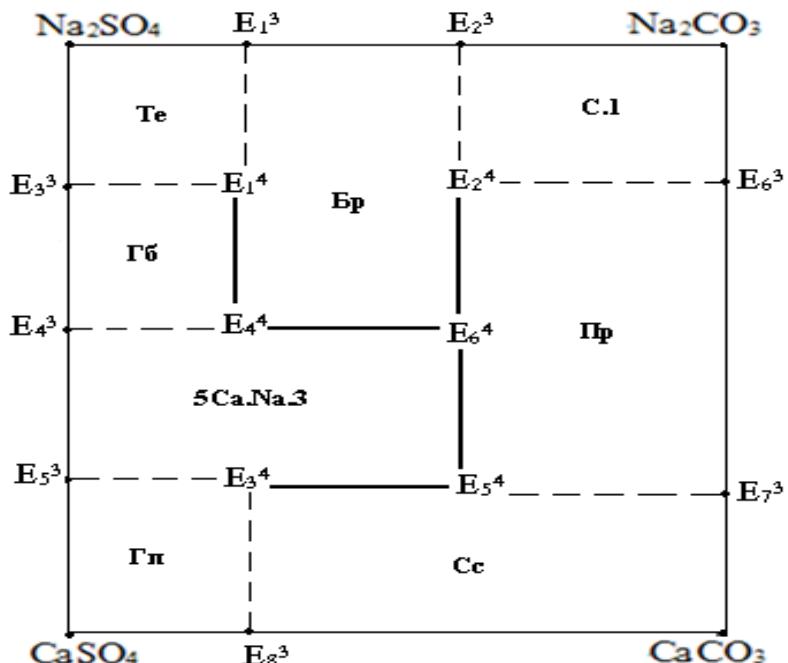
Расми 9. Пирамидаи кушоди оствҳои координатии системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дарҳарорати 75°C

Дар натицаи интиқоли нүктахой нонвариантити зерсатхи системаи тахқиқшаванда ба сатхи чоркомпонентагай, пайдошавии чунин нүктахой нонвариантай ин сатх ба назар мерасанд:



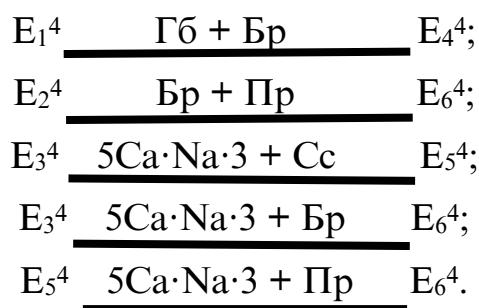
Аз 6 нүктахой нонвариантити сатхи чоркомпонента 3 - тоаш (E_1^4 , E_2^4 , E_3^4) дар натицаи транслятсияи «дутарафа», дутоаш (E_4^4 , E_5^4) дар натицаи транслятсияи «яктарафа» ва яктои дигарааш (E_6^4) дар натицаи транслятсияи «мобайнй» [23, 24] ҳосил шудаанд.

Дар асоси далелҳои ноилгардида якумин маротиба диаграммаи комплекси фазагии системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ барои ҳарорати 75 °C сохта шудааст, ки сохтори он дар расми 10 пешниҳод гардидааст.



Расми 10. Диаграммаи комплекси фазагии системаи химиявии $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар 75 °C

Дар расми 8 хатҳои пунктирии овардашуда транслятсияи нуқтаҳои нонвариантни сатҳи секомпонента ба сатҳи чоркомпонента шарҳ медиҳад. Хатҳои яклухти ғафс хатҳои моновариантни сатҳи чоркомпонента бо чунин фазаҳои саҳти мувозинатӣ мебошад, ки теъдоди онҳо ба 5 адад баробар буда, фазаҳои саҳти мувозинатиашон чунин аст:



Дар диаграмма онҳо бо хатҳои бефосилаи ғавс ишора карда шудаанд. Фрагментатсияи диаграммаи мувозинатҳои фазагии бо усули транслятсия соҳташудаи мазкур дар ҳарорати 75°C сарҳадҳои зерини майдонҳои дивариантро нишон медиҳанд (ҷадв. 8).

Ҷадвали 8. Контури майдонҳои дивариантни системаи

$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 75°C

Фазаҳои саҳти майдонҳои дивариантӣ	Контури майдонҳои диаграмма (расми 8)	Фазаҳои саҳти майдонҳои дивариантӣ	Контури майдонҳои диаграмма (расми 8)
Te	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \longrightarrow E_1^3$ $E_3^3 \dashrightarrow E_1^4$	Γp	$E_5^3 \dashrightarrow E_3^4$ $\text{CaSO}_4 \longrightarrow E_8^3$
Cc	$E_7^3 \dashrightarrow E_5^4 \longrightarrow E_3^4$ $\text{CaCO}_3 \longrightarrow E_8^3$	Пр	$E_6^4 \longrightarrow E_2^4 \dashleftarrow E_6^3$ $E_5^4 \dashleftarrow E_7^3$

C·1	E_2^3 ————— Na_2CO_3 \Downarrow $E_2^4 <---- E_6^3$	Гб	E_3^3 ----- E_1^4 $E_4^3 -----> E_3^4$
Бр	E_4^4 ————— E_1^4 $<---- E_1^3$ E_6^4 ————— E_2^4 $<---- E_2^3$	$5Ca \cdot Na \cdot 3$	$E_4^3 -----> E_4^4$ ————— E_6^4 $E_5^3 -----> E_5^4$ ————— E_5^4

Дар ҳамин асос муайян намудем [78-80], ки барои системаи чоркомпонентаи $Na^+, Ca^{2+} || SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$ дар ҳарорати $75^{\circ}C$ чунин төъдоди элементҳои геометрий хос аст: нуқтаҳои нонвариантӣ 6; хатҳои моновариантӣ 13 ва майдонҳои дивариантӣ 8.

2.5. Изотермаи комплекси фазагии системаи

$Na^+, Ca^{2+} || SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$ дар $100^{\circ}C$

Қонуниятҳои комплекси фазагии системаи химиявии чоркомпонентаи муовизаи иборат аз сулфатҳо, карбонатҳои натрийю калтсий асоси коркарди галлургии минералҳои табиии аз обҳои баҳро ҳосилшуда ва партовҳои моеъи саноатиро муайян мекунад. Ин зербоб натиҷаи таҳқиқотии системаи $Na^+, Ca^{2+} || SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$ бо ёрии усули транслятсия мавриди омӯзиш қарор медиҳад. Истифодабарии усули транслятсия дар омӯзиши системаҳои химиявии компонентнокиашон зиёд, мутобиқ ба қоиди фазаи Гибbs ва принципи сеюмини асосҳои таҳлили физико-химияйӣ, ки аз ҷониби Я.Горошенко пешниҳод гардидааст, онро дар назар дорад, ки мувофиқи он дар як диаграмма ҷойгир намудани элементҳои геометрии сатҳи **n** ва **n+1** мумкин мебошанд [81, 82]. Системаи чоркомпонентаи $Na^+, Ca^{2+} || SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$ аз системаҳои секомпонентаи: $Na^+ - SO_4^{2-} - CO_3^{2-} - H_2O$; $Ca^{2+} - SO_4^{2-} - CO_3^{2-} - H_2O$; $Na^+ - Ca^{2+} - SO_4^{2-} - H_2O$; $Na^+ - Ca^{2+} - CO_3^{2-} - H_2O$ ташкил ёфта, барои онҳо

чунин нүктаҳои нонвариантӣ, бо фазаҳои сахти дар мувозинатбуда, хос мебошад, ки дар ҷадвали 9 оварда шудааст.

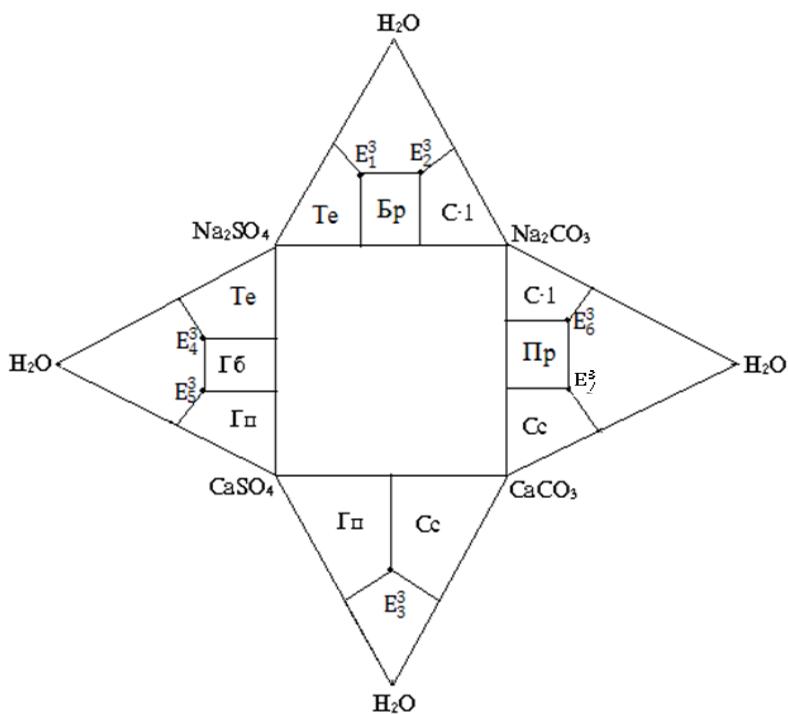
Ҷадвали 9. Мувозинатҳои фазагии нүктаҳои нонвариантии системαι

ҷоркомпонентай $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$

дар сатҳи секомпонентагӣ барои ҳарорати 100°C

Нүктаҳои нонвариантӣ	Фазаҳои сахти дар мувозинатбуда	Нүктаҳои нонвариантӣ	Фазаҳои сахти дар мувозинатбуда
Системаи $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$		Системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	
E_1^3	Те+Бр	E_4^3	Те+Гб
E_2^3	Бр+С·1	E_5^3	Гб+Гп
Системаи $\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$		Системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$	
E_3^3	Гп+Cc	E_6^3	С·1+Пр
		E_7^3	Пр+Cc

Дар ҷадвали 9 ишораи Е-нүктаи нонвариантӣ буда, индексаш рақами тартибӣ ва дараҷааш компонентнокии системаро ифода мекунад. Барои фазаи сахти дар мувозинат будаи системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 100°C чунин ишораҳои шартӣ қабул шудааст: Бр-беркеит- $2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$; Пр-пирсонит $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; Гб-глауберит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$; Те-тенардит- Na_2SO_4 ; С·1-натрит- $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$; Гп-гипс- $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; Сс-калсит CaCO_3 . Дар асоси ҷадвали 9 диаграммаи комплекси фазагии системаи $\text{Na}, \text{Ca} // \text{SO}_4, \text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ барои ҳарорати 100°C дар сатҳи секомпонентагӣ дар шакли призмаи кушода сохтан мумкин, ки чунин намуд дорад (расм. 11).



Расми 11. Пирамидаи күшоди отовҳои координатии системαι $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати $100\text{ }^\circ\text{C}$

Чи хеле, ки аз диаграммаи соҳташуда бармеояд, барои системай секомпонентаи $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дутоги нуқтаи нонвариантӣ ва барои системай секомпонентаи $\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ якто нуқтаи нонвариантӣ хос аст. Ҳангоми ба яке нуқтаҳои нонвариантӣ илова намудани компоненти чорум, онҳо андозаи худро ба як воҳид зиёд намуда, ба хатти моновариантӣ мубаддал мешаванд. Дар ин маврид ба самти чоркомпонентагӣ транслятсия шуда, ба ҳосилшавии нуқтаҳои нонвариантии сатҳи чоркомпонентагӣ сабаб мешаванд, ки он ба таври риёзӣ ин равандро чунин ифода мекунанд:

$$E_1^3 + E_4^3 \dashrightarrow E_1^4 = \text{Te} + \text{Br} + \Gamma\beta;$$

$$E_2^3 + E_6^3 \dashrightarrow E_2^4 = \text{Br} + \text{C}\cdot\text{l} + \text{Pr};$$

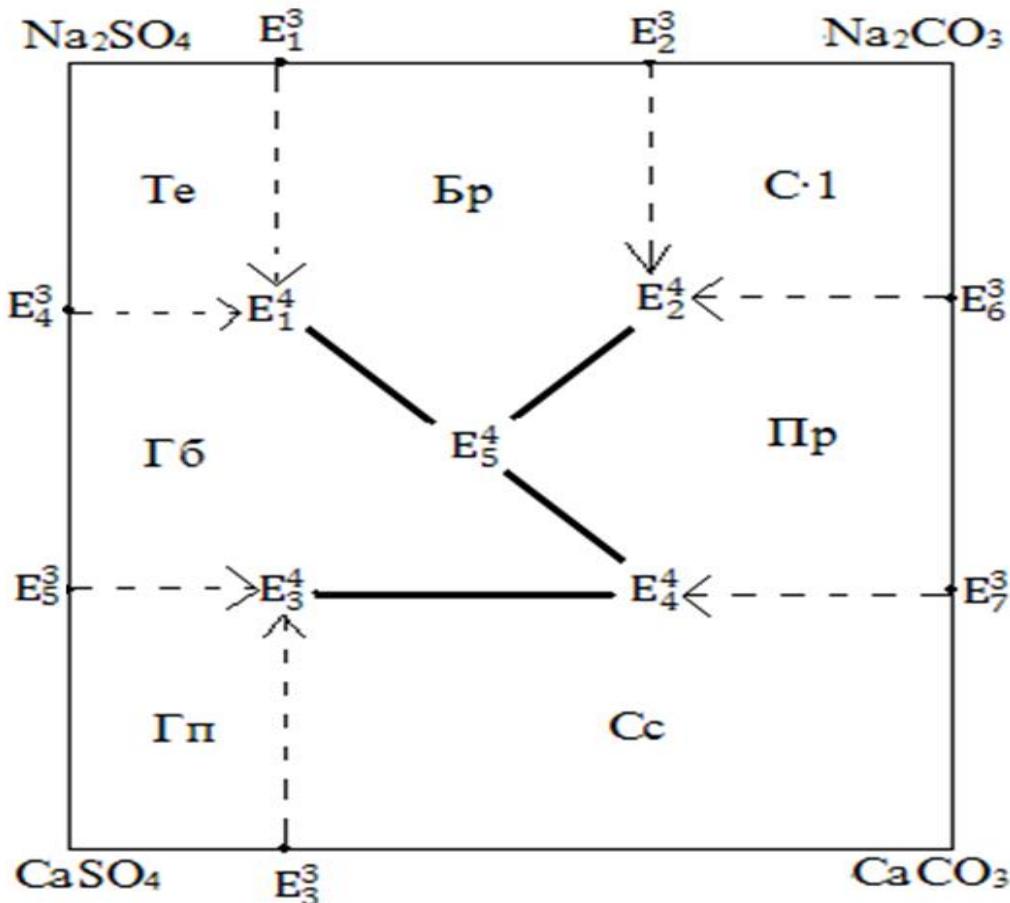
$$E_3^3 + E_5^3 \dashrightarrow E_3^4 = \Gamma\beta + \Gamma\pi + \text{Cc};$$

$$E_7^3 + \Gamma\beta \dashrightarrow E_4^4 = \Gamma\beta + \text{Cc} + \text{Pr};$$

$$E_5^4 = \Gamma\beta + \text{Br} + \text{Pr}.$$

Аз ин ифода чунин бар меояд, ки нүктахой нонвариантии E_1^4 , E_2^4 , E_3^4 – ро дар натичаи транслятсияи дутарафаи нүктахой нонвариантии сатхи секомпонентаи системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ ҳосил кардаанд. E_4^4 бошад, дар раванди транслятсияи яктарафа, ки нүктаи нонвариантии сетхи секомпонентаи системаи $\text{Na}^+-\text{Ca}^{2+}-\text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ бо майдони глауберит дар сатхи чоркомпонентагӣ во меҳурад ҳосил мекунад ва E_5^4 бо намуди транслятсияи «мобайний» ҷиҳати маҳдуд намудани майдонҳои беркеит, глауберит ва пирсонит дар диаграммаи системаи химиявии ҳосил таҳқиқшаванда барои изотермаи $100\ ^\circ\text{C}$ муайян намудаанд.

Дар расми 12 диаграммаи комплекси фазагии [25] системаи чоркомпонентаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$, барои ҳарорати $100\ ^\circ\text{C}$, сохта, оварда шудааст.



Расми 12. Диаграммаи комплекси фазагии системаи химиявии $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ дар $100\ ^\circ\text{C}$

Хатҳои моновариантӣ дар диаграмма табииати дуҳелагӣ дошта 7-тои онҳо дар натиҷаи интиқоли нуқтаҳои нонвариантии зерсатҳи системаи омӯҳташаванда ба сатҳи чоркомпонента ҳосил шудаанд (онҳо хатҳои пунктӣ буда, самти транслятсияро тирча ифода мекунад). Хати гафси яклухт бошад байни нуқтаҳои нонвариантии сатҳи чоркомпонента гузашта, онҳоро бо ҳам мепайвандад, ки дар мувозинат будани чунин фазаҳои саҳтро ифода мекунад:

$$\begin{array}{c} E_1^4 \quad \underline{\text{Гб+Бр}} \quad E_5^4; \\ E_2^4 \quad \underline{\text{Бр+Пр}} \quad E_5^4; \\ E_3^4 \quad \underline{\text{Гб+Cc}} \quad E_4^4; \\ E_4^4 \quad \underline{\text{Гб+Cc}} \quad E_5^4. \end{array}$$

Фрагментатсияи диаграммаи комплекси фазагии бо усули транслятсия соҳташудаи мазкур дар ҳарорати 100°C сарҳадҳои зерини майдонҳои дивариантро нишон медиҳанд (чадв. 10).

Чадвали 10. Контури майдонҳои дивариантии системαι

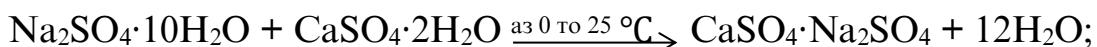
$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 100°C

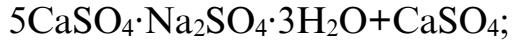
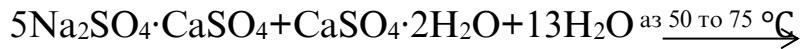
Фазаҳои саҳти майдонҳои дивариантӣ	Контури майдонҳои диаграмма (расм. 10)	Фазаҳои саҳти майдонҳои дивариантӣ	Контури майдонҳои диаграмма (расм. 10)
Te	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{\text{E}_1^3}$ $\text{E}_4^3 \dashrightarrow \text{E}_1^4$	$\Gamma\text{п}$	$\text{E}_5^3 \dashrightarrow \text{E}_3^4$ $\text{CaSO}_4 \xrightarrow{\text{E}_3^3}$
Cc	$\text{E}_7^3 \dashrightarrow \text{E}_4^4 \xrightarrow{\text{E}_3^4}$ $\text{CaCO}_3 \xrightarrow{\text{E}_3^3}$	Пр	$\text{E}_5^4 \xrightarrow{\text{E}_2^4} \text{E}_5^3$ $\text{E}_4^4 \dashrightarrow \text{E}_7^3$
C·1	$\text{E}_2^3 \xrightarrow{\text{Na}_2\text{CO}_3}$ $\text{E}_2^4 \dashrightarrow \text{E}_5^3$	Гб	$\text{E}_4^3 \dashrightarrow \text{E}_1^4 \xrightarrow{\text{E}_5^4}$ $\text{E}_5^3 \dashrightarrow \text{E}_3^4 \xrightarrow{\text{E}_4^4}$

Бр			
----	--	--	--

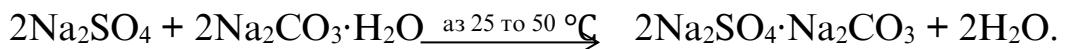
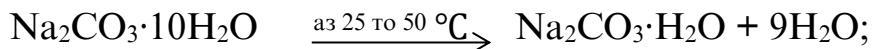
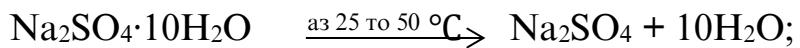
2.6. Тахлили муқоисавии сохтори комплекси фазагии системаи иборат аз сулфатҳо, карбонатҳои натрийю калтсий ташкилёфта дар ҳароратҳои 0, 25, 50, 75 ва 100 °C

Муқоисай миқдори умумии нуктаҳои нонвариантини система дар сатҳи секомпанентагӣ барои ҳарорати 0 °C (расм. 1), барои ҳарорати 25°C (расм. 3), барои ҳарорати 50 °C (расм. 5), барои ҳарорати 75 °C (расм. 7) ва барои ҳарорати 100 °C (расм. 9) нишон медиҳанд, ки онҳо гуногун мебошанд. Бинобар ин, миқдори элементҳои геометрии система дар изотермаҳои 0, 25, 50, 75 ва 100 °C мухталифанд. Дар системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ барои ҳарорати 0 °C як нуктаи нонвариантӣ мавҷуд мебошад, ки барои вай фазаҳои сахти мувозинатии Мб+Гп хос аст. Бо афзоиши ҳарорат аз 0 то 25 °C дар натиҷаи боҳамтаъсиркуни фазаи мирабилит ($\text{Mб} - \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ва гипс ($\text{Гп} - \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ҳосилшавии фазаи навӣ намаки глауберит ($\text{Гб} - \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$) ба мушоҳида мерасад. Ҳангоми аз 25 то 50 °C тағиیرёбии ҳарорат дегидрататсияи фазаи мувозинатии мирабилит ба мушоҳида расида, дар натиҷаи он сулфати натрийи беоб ҳосил мешавад. Дар натиҷаи баландшавии ҳарорат аз 50 то 75 °C бошад, байни фазаҳои мувозинатии глауберит ($\text{Гб} - \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$) ва гипс ($\text{Гп} - \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ҳосилшавии фазаи нави кристаллогидрати намаки дучандай $5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3$ ($5\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) амали мешавад, аммо агар дараҷаи ҳарорат аз 75 то 100 °C баланд карда шавад, фазаи $5\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ таҷзия шуда, ба глауберит ва гипс мубаддал мегардад. Муодилаи реаксияҳои таъсири мутақобилаи онҳо чунин аст:



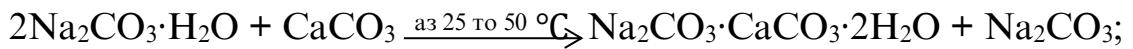
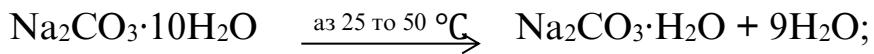


Системаи секомпонентаи $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ бо баландшавии ҳарорат ба табадуллоти фазагӣ дучор мешавад. Ҳангоми баландшавии ҳарорат аз 0 то 25 $^\circ\text{C}$ дар системаи секомпонентаи номбурда боҳамтаъсирикунӣ вуҷуд надошта, бо баландшавии ҳарорат аз 25 то 50 $^\circ\text{C}$ байни фазаҳои мирабилит ($\text{Mб} - \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ва декагидрат карбонати натрий ($\text{C}\cdot 10 - \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) реаксияи химиявӣ ба вуҷуд оварда, ба ҳосилшавии фазаи нави беркеит ($\text{Br} - 2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$) ва пайдошавии майдони кристаллизатсионии он мегардад. Ғайр аз ин, фазаҳои мувозинатии мирабилит ва декагидрат карбонати натрий дегидрататсия шуда ба фазаҳои мувозинатии тенардит ($\text{Te} - \text{Na}_2\text{SO}_4$) ва моногидрат карбонати натрий ($\text{C}\cdot 1 - \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) мубаддал мегардад. Бо баландшавии ҳарорат аз 50 то 100 $^\circ\text{C}$ дар системаи секомпонентаи $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ тағйирот ба назар намерасад. Муодилаи реаксияҳое, ки бо афзоиши ҳарорат дар системаи секомпонентаи $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ба амал меоянд, чунинанд:



Мувозинатҳои фазавӣ дар системаи секомпонентаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳароратҳои 0 ва 25 $^\circ\text{C}$ яхела буда, дар натиҷаи баландшавии ҳарорат аз 25 то 50 $^\circ\text{C}$ тағйироти фазагӣ ба амал меояд. Ҳангоми баландшавии ҳарорат аз 25 то 50 $^\circ\text{C}$ ғайр аз оне, ки декагидрат карбонати натрий ($\text{C}\cdot 10 - \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) дегидрататсия шуда, ба моногидрат карбонати натрий ($\text{C}\cdot 1 - \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) мубаддал мешавад, боз байни фазаҳои мувозинатии моногидрат карбонати натрий ($\text{C}\cdot 1 - \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ва калтсит ($\text{Cc} - \text{CaCO}_3$) реаксияи химиявӣ гузашта, ҳосилшавии фазаи нави пирсонит ($\text{Пр} - \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)-ро бо

майдони алоҳидаи кристаллизатсиониаш ба вучуд меорад. Баланшавии ҳарорат аз 50 то 100 °C дар системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ба тағйирёбии мувозинати фазагӣ намеоварад. Реаксияҳои химиявие, ки бо баландшавии ҳарорат дар системаи секомпонентаи зикргардида ба амал меоянд, чунинанд:



Системаҳои секомпонентаи $\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳароратҳои 0, 25, 50, 75 ва 100 °C дори мувозинатҳои фазавии якхела мебошад.

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

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

Ҷадвали 11. Муқоисаи миқдори элементҳои геометрии системаи

$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар политерма

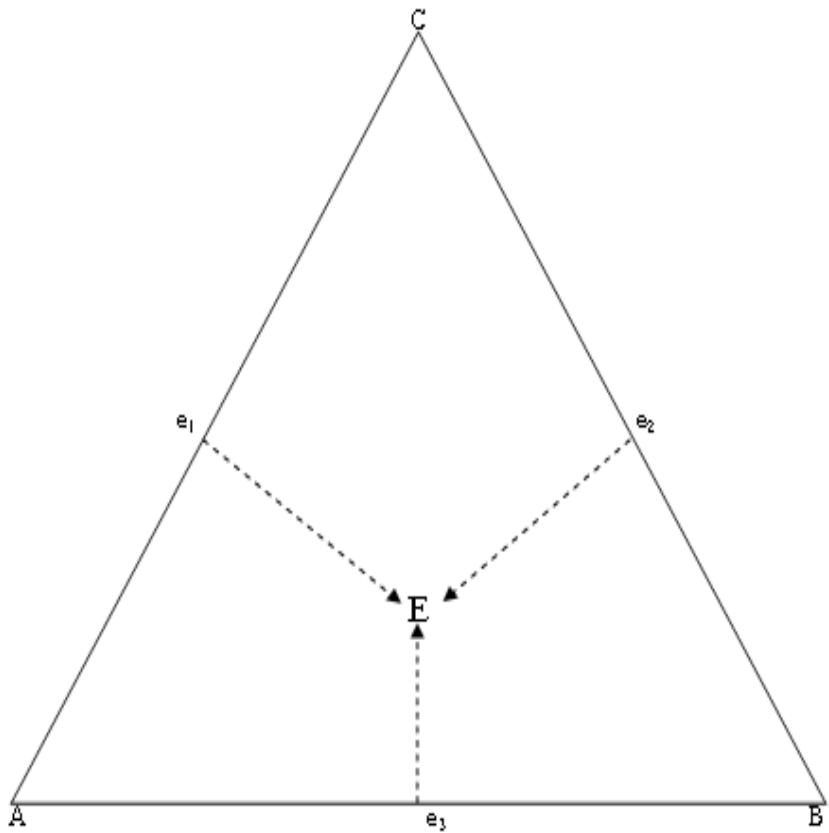
Элементҳои геометрӣ	Ҳарорат, °C				
	0	25	50	75	100
Нуқтаҳои нонвариантӣ	3	4	5	6	5
Хатҳои моновариантӣ	7	9	11	13	11
Майдонҳои дивариантӣ	5	6	7	8	7

БОБИ Ш. ҲАЛШАВАНДАГИИ СИСТЕМАИ ХИМИЯВИИ МУОВИЗАИ Na^+ , Ca^{2+} || SO_4^{2-} , CO_3^{2-} - H_2O

3.1. Усулҳои омӯзиши ҳалшавандагӣ дар нуқтаҳои нонвариантии бо усули транслятсия муқарраргардида

Эксперименталий муайянкуни нуқтаҳои нонвариантии бо усули транслятсия муқарраркардашуда бо якчанд роҳҳо таъин карда мешавад. Яке аз онҳо «усули тосершавӣ» (доносышения) буда, дар корҳои [5] муфассал оварда шудааст. Моҳияти усул аз он бармеояд, ки маҳлули нуқтаҳои нонвариантии системаи **n** – компонента зина ба зина то ҳосилшавии маҳлули саҳти сатҳи **n+1** компонента сер кунонида мешавад. Барои мисол системаи чоркомпоненти намуди эвтоникии А – В – С – Д (дар инҷо шартан моддаи Д ҳалқунанда, хусусан H_2O мебошад) дида мебароем. Қисми намакии диаграммаи комплекси фазагии он дар расми 13 оварда шудааст. Дар ин ҳолат вариантҳои зерини муайянкуни эксперименталии мавқеи нуқтаи нонвариантии Е бо усули транслятсия мавҷуд аст.

Якум вариант. Агар системаи ибтидой (дар ин маврид секомпонента) А-В-Д (H_2O) бошад, барои муайянкуни мавқеи Е дар система ба ду фазаи мувозинатии саҳт (А ва В) зина ба зина фазаи саҳти С – ро (бо тирча нишон дода шудааст езЕ) то ҳосилшавии таҳшини А ва В илова намуда, пас таркибан маҳлули сери якҷоя кристаллизатсияшудаи фазаи саҳти А+В+С – ро ҳосил менамоядм.



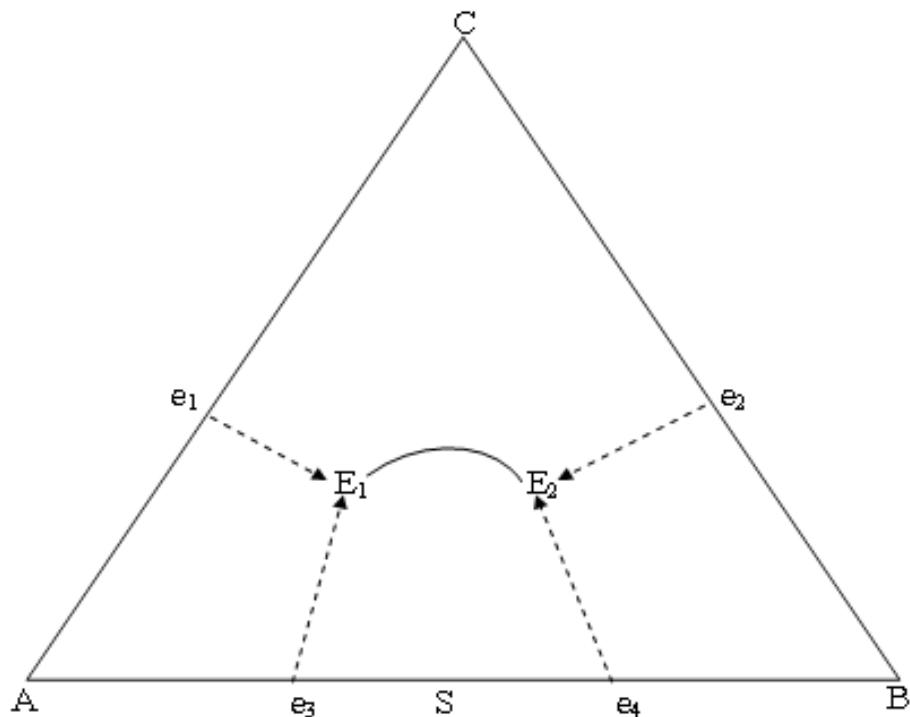
Расми 13. Қисми намакии диаграммаи комплекси фазагии системаи А – В – С – Д (Д - ҳалкунанда), қи дар байни қисмҳои таркибӣ боҳамтаъсиркунӣ мавҷуд нест

Дуюм вариант. Агар системаи ибтидоии А – С – Д (H_2O) барои муайянкуни мавқеи Е дар система ба фазаҳои саҳти мувозинатии А ва С зина ба зина фазаи саҳти В (бо тирча ишора карда шудааст e_1E) то ҳосилшавии таҳшини якҷояи В ва С илова намуда маҳлули сери онро ҳосил менамоем, ки дар он фазаҳои саҳти А, В ва С, ки бо якум вариант муайян намуда будем, якхела ҳосил менамоем.

Сеюм вариант. Агар системаи **n** компонентаи ибтидои В – С – Д (H_2O) бошад, барои ёфтани мавқеи нуқтаи нонвариантии Е дар он, ба фазаи саҳти дар мувозинатбудаи В ва С бо таври зинагӣ фазаи саҳти А (бо тирча нишон дода шудааст e_2E) то ҳосилшавии таҳшин илова намуда, нуқтаи сечандай системаи болозикрро ҳосил менамоянд, ки он таркибан ба нуқтаҳои бо якум ва дуюм вариант ҳосилшуда наздик ё айнан якхела мебошад.

Чорум вариант. Махлулҳои сери алоҳидаи фазаҳои мувозинатии компонентҳои А, В ва С –ро омода намуда, онҳоро дар ҳарорати додашуда то ба мувозинат омаданашон омехта менамоем. Пас мушоҳида менамоем, ки дар натиҷаи омезиш нуқтае ҳосил мешавад, дар он ҳарсे фазаҳои саҳти мувозинатии $A+B+C$ ба назар мерасад ва он аз ҳосилшавии нуқтаи нонвариантии сатҳи **n+1** компонента шаҳодат медиҳад. Чунин таркиби нуқта низ ба таркиби бо якум, дуюм ва сеюм вариант муқарраргардида мувоғиқ аст.

Зимни байни компонентҳои таркиби система боҳамтаъсиркунии химиявӣ вучуд дошта бошад, ки дар натиҷаи он солватҳо, гидратҳо, намакҳои дучанда ва омехта ҳосил шавад, дар ин ҳолат соҳти диаграмма мураккабтар мегардад. Чунин мураккабӣ дар эксперимент мавқеи элементҳои геометриро муайян мекунад. Инро дар мисоли системай чоркомпонентай А-В-С-Д (H_2O), ки дар натиҷаи таъсири мутақобилаи компонентҳои А ва В пайвасти нави S ҳосил мешавад, дидан мумкин мебошад. Соҳти схемаи қисми намакии диаграммаи мувозинатҳои фазавии системаи болозикр дар расми 14 оварда шудааст.



Расми 14. Қисми намакии диаграммаи мавозинатҳои фазагии системаи

A – B – C – D (D - халкунанда), ки байни компонентҳои A ва B бохамтаъсиркуни химиявӣ бо ҳосилшавии пайвасти S амалӣ мегардад

Чуноне, ки аз расми 14 бармеояд, барои чунин диаграмма ду нуқтаи нонвариантӣ (E_1 ва E_2) хос буда, мавқеи онҳо дар диаграмма бо таври зерин муайян карда мешавад.

а) Барои нуқтаи нонвариантии E_1

Якум вариант. Дар мавриди компонентҳои ибтидой A – C – D (H_2O) будан, барои муайянкуни мавқеи нуқтаи нонвариантӣ E_1 дар системаи додашуда, ба фазаҳои саҳти мувозинатии A ва C зина ба зина пайвасти S илова карда мешавад (бо тирча нишон дода шудааст e_1E_1), ки он мувақаттан бо фазаҳои A ва C таҳшон ҳосил накарда, баъди ба мувозинат омадани концентратсияҳои ҳарсе фазаҳо дар маҳлул ба таҳшон мефароянд.

Дуюм вариант. Азбаски системаи ибтидой A – B – D (H_2O) мебошад, барои ёфтани мавқеи нуқтаи нонвариантии E_1 , ба маҳлули сери компоненти A ва пайвасти S, зина ба зина (бо тирча ишора шудааст e_3E_1) компоненти C илова менамоем, ки он якбора ба таҳшон нафаромада, зимни дар мувозинат омадани маҳлуи сер, дар шакли фазаи саҳти мувозинатии A + S + C таҳшон мешавад, ки дар фазаҳои A, S ва C ба назар мерасад. Чунин таркиби ҳосилшавии нуқта бо якум варианти ҳосилкунӣ якхела мебошад.

Сеюм вариант. Маҳлулҳои сери алоҳидай фазаҳои мувозинатии A + C (нуқтаи e_1) ва C + S (нуқтаи e_3) омода намуда, то ба мувозинат омадан, омехта менамоем ва барои онҳо конгломерати A + S + C ҳосил мекунем, ки чунин тарзи муайянкуни нуқтаи нонвариантӣ ба варианҷои якум ва дуюм таркибашон якхела буда, концентратсияи фазаҳо дар онҳо якхела мебошад.

б) Барои нуқтаи нонвариантии E_2

Якум вариант. Агар ба системаи ибтидои B–C–D (H_2O) барои муайянкуни мавқеи нуқтаи нонвариантии E_2 ба фазаи саҳти мувозинатии B ва C зина ба зина пайвасти S илова намоем (бо тирча

ишора шудааст e_2E_2) дар натица онҳо якчоя таҳшон нашуда, танҳо пас аз ба мувозинат омадани маҳлули сер дар якчоягии фазаҳои В, С ва S таҳшоа ташкил мекунанд.

Дуюм вариант. Агар ба системаи аввали А – В – Д (H_2O) барои ёфтани мавқеи нуқтаи нонвариантӣ E_2 дар диаграмма, дар системаи додашуда ба фазаҳои мувозинатии В ва S бо таври зинагӣ компоненти С илова намоем якбора дар қатори фазаҳои В ва С ба таҳшинӣ фазаи С намефарояд. Баъди ба мувозинат омадани маҳлули сер метавонад он дар шакли $B + S + C$ таҳшона дихад.

Сеюм вариант. Маҳлулҳои сери алоҳидаи таркибан мувофиқан дар мувозинатбудаи фазаҳои $B+C$ (нуқтаи e_2) ва $B+S$ (нуқтаи e_4) омода намуда оmezish медиҳем то ба мувозинат омадан. Дар натиҷа аз маҳлули сери омоданамудаамон конгломерати $B + C + S$ ҳосил мешавад, ки шаҳодати ҳосилшавии нуқтаи нонвариантӣ мебошад. Нуқтаи нонвариантӣ мазкур таркибан айнан ба нуқтаҳои бо варианти якум ва дуюм ҳосилгардида мувофиқ аст.

3.2. Изотермай ҳалшавандагии системаи



Дар ин бахш ҳалшавандагӣ дар нуқтаҳои нонвариантии системаи химиявии мувозизаи $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-}, H_2O$ дар ҳарорати 0°C мавриди муҳокима қарор гирифтааст, ки сохтори диаграммаи комплексҳои фазагии он дар [74] нашр шуда, дар [75] апробатсия шудааст.

Обҳои таркиби регенератсияи қриолоит дар заводҳои алюминий дорои фторидҳо, карбонатҳо, гидрокарбонатҳо ва сулфатҳои натрий ва калтсий мебошанд [83-86]. Равандҳои кристаллизатсия ва ҳалшавандагии намакҳо дар маҳлулҳои обии ин партовҳо бо қонуниятҳои мувозинатҳои фазавӣ дар системаи шашкомпонентаи $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-}, HCO_3^-, F^-, H_2O$ ва системаҳои панҷу чоркомпонентаи онро ташкилдиҳанд муйян карда мешаванд.

Қисмҳои таркибии системаи химиявии мазкур - ин сулфат, карбонатҳои натрийю калтсий мебошанд, ки онҳо дар ҳарорати 0 °C 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 - калтсит (Cc) 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 химияви тоза); Na_2CO_3 (тоза); CaCO_3 (тоза).

Таҷрибаро аз рӯи нақшай зерин гузаронидем: маҳлулҳои сери системаҳои $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ва $\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ -ро бо таҳшинҳояшон, мутобиқ ба схемаи диаграммаи комплекси фазавии бо усули транслятсия сохтаамон якҷоя карда, дар ҳарорати 0 °C дар термостат оmezиш додем. Оmezишро бо ёрии омехтакунаки магнитӣ дар муддати 50-100 соат то ба мувозинат омадани система давом додем. Ҳароратро бо ёрии ҳароратсанчи kontaktӣ назорат кардем. Кристаллизатсияи фазаҳои саҳт бо ёрии микроскопи тамғаи «ПОЛАМ-Р 311» назорат карда шуда, баъди ба мувозинат омадан фазаҳои саҳтро бо ёрии аксбардори тамғаи «Sony Alpha ILCE-7M3 body» аксбардорӣ кардем. Натиҷаи таҳлили кристаллооптикийи фазаҳои саҳт дар майдонҳо, ҳатҳо ва нуқтаҳо дар расами 15 оварда шудааст.



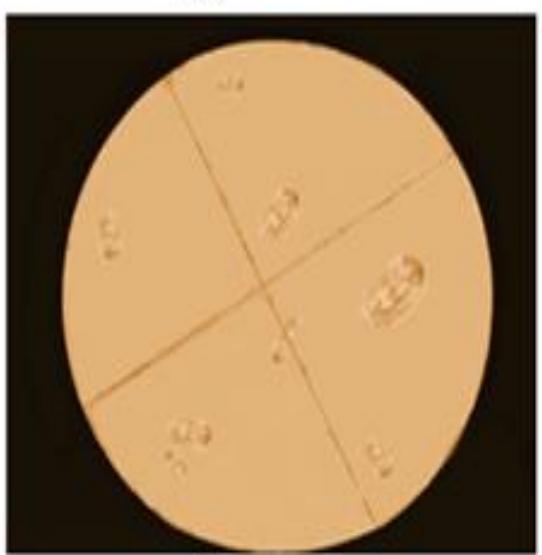
M6



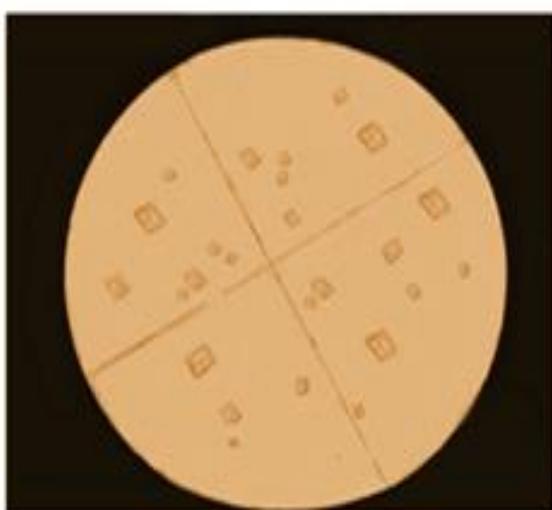
ГII



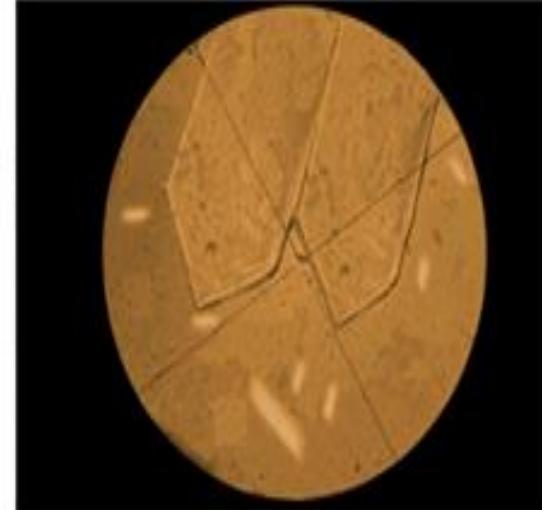
C-10



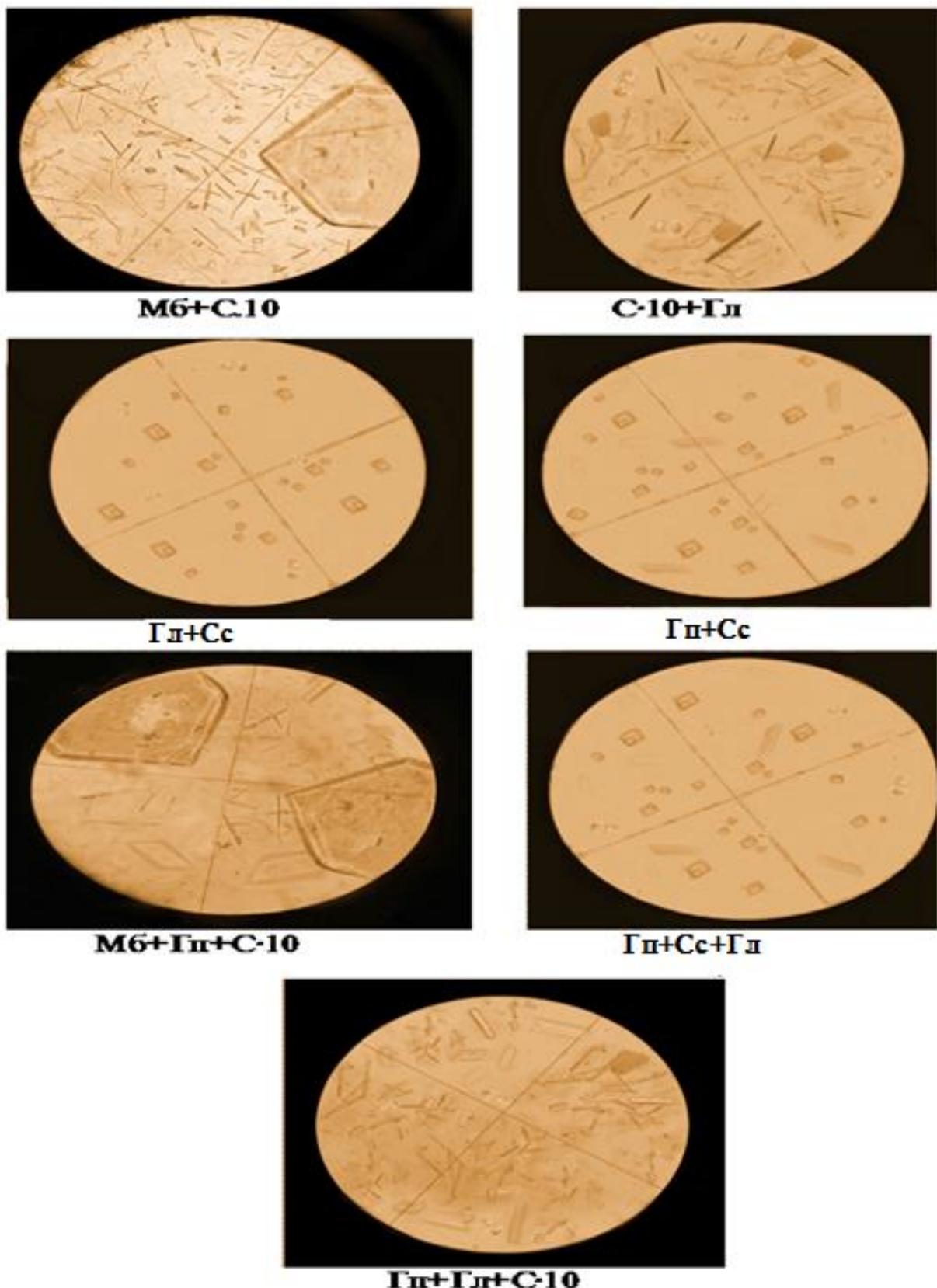
ГЛ



Сс



ГII+M6



Расми 15. Микроакси фазаҳои сахти мувозинатӣ дар системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ барои ҳарорати 0°C

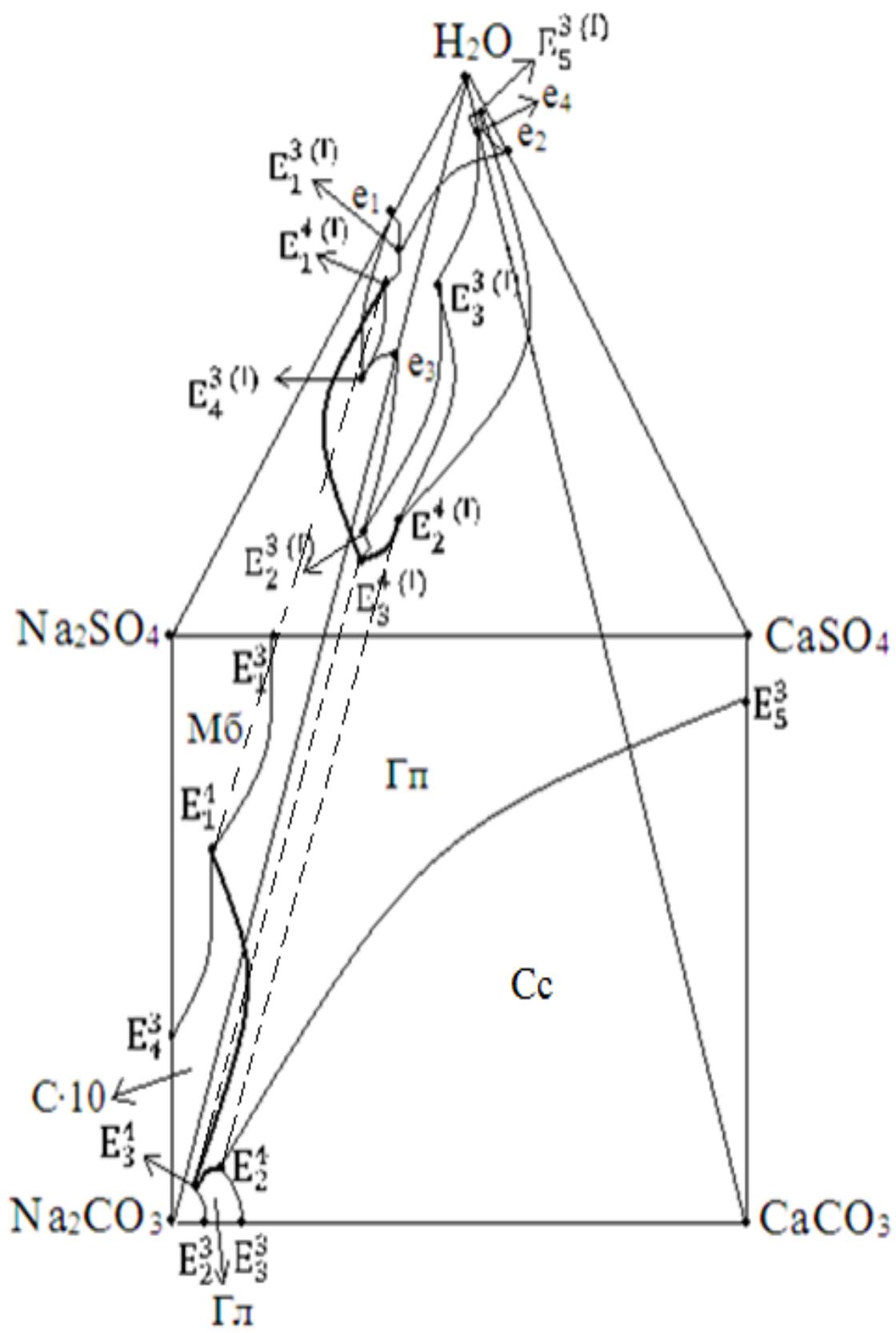
Фазаҳои сахтро аз маҳлул бо ёрии насоси вакуумӣ дар қифи Бюхнер чудо кардем. Таҳшинро пас аз филтронидан бо маҳлули 96 % спирти этил шуста, дар ҳарорати 120 °C хушк намудем. Барои таҳлили химиявӣ аз усулҳои маълум [91-93] истифода намудем.

Дар ҷадвали 12 маълумот оиди ҳалшавандагӣ дар системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ҷамъ оварда шудаанд (ҳарорати 0 °C).

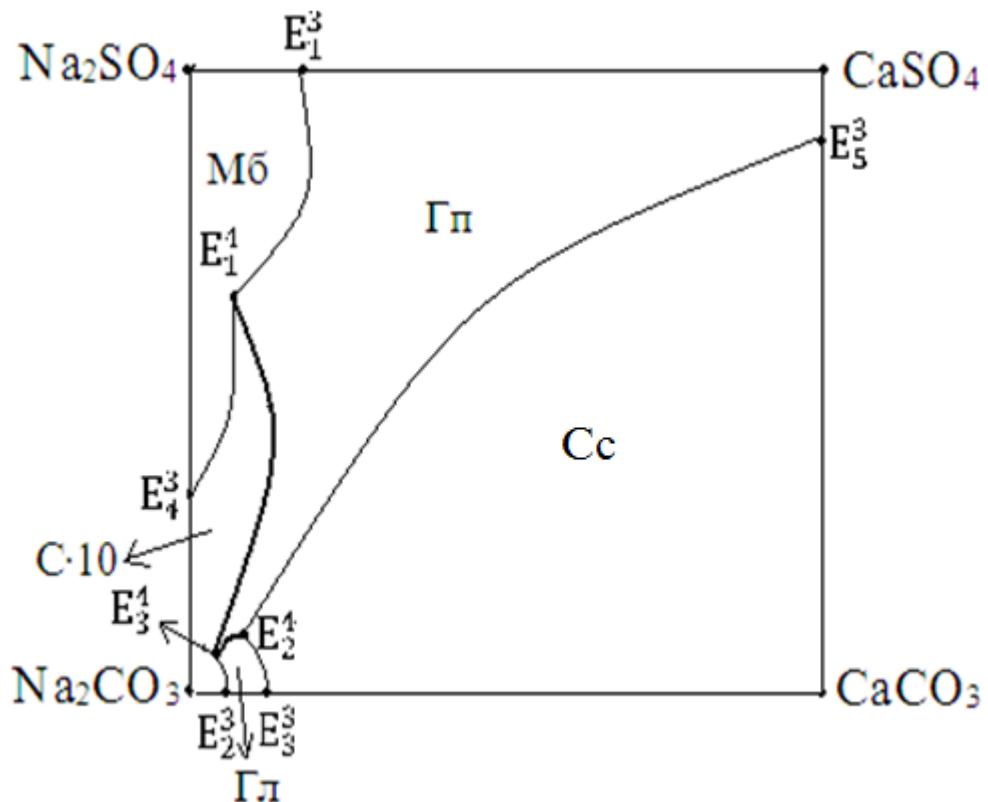
Ҷадвали 12. Ҳалшавандагии системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
дар ҳарорати 0 °C

Нуқтаҳои нонвариантӣ	Таркиби фазаҳои моёъ, мас. бо %					Фазаҳои сахти 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	Cx10
e_4	-	-	-	0.0031	99.996	Cc
E_1^3	4.34	0.196	-	-	95.46	Мб+Гп
E_2^3	-	-	12,0	0,0048	87,99	Cx10+Гл
E_3^3	-	-	4,3	0,0048	95,69	Гл+Cc
E_4^3	2,8	-	6,01	-	91,19	Мб+ Cx10
E_5^3	-	0,20	-	0,0045	99,795	Гп+Cc
E_1^4	1,967	0,244	1,551	-	96,238	Мб+ Cx10+Гп
E_2^4	-	0,272	11,30	0,00465	88,42	Cx10+Гп+Гл
E_3^4	-	0,34	18,30	0,0125	81,347	Гп+Гл+Cc

Дар асоси далелҳои бадастовардашуда маротибаи аввал диаграммаи ҳалшавандагии системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 0 °C соҳта шуд, ки он дар расми 16 (а) қисми оби-намакӣ, б) қисми намакӣ) оварда шудаанд.



a)



б)

Расми 16. Диаграмма ҳалшавандагии системаи химиявии муовизаи

$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ барои ҳарорати 0°C :

а) шакли обӣ-намакӣ; б) шакли намакӣ

Номгӯи элементҳои геометрии (нуқтаҳо, хатҳо, майдонҳо) дар расми 16 ҷойдошта, дар ҷадвали 13 оварда шудааст.

Ҷадвали 13. Номгӯи шаклҳои геометри барои системаи

$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар изотермай 0°C

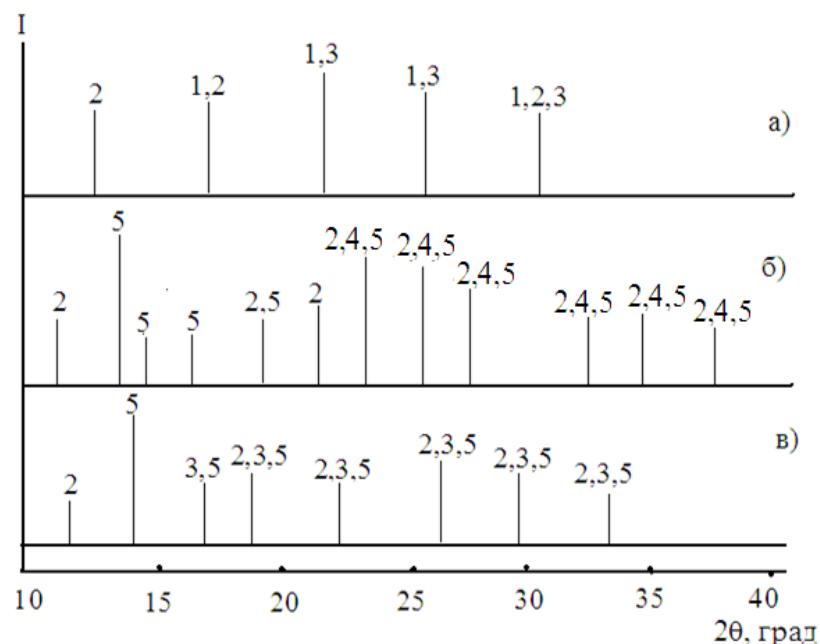
Ишораи элементҳои геометри	Мазмуни элементҳои геометри дар диаграмма
1	2
e_1	Ҳалшавандагии сулфати натрий дар об
e_2	Ҳалшавандагии сулфати калсий дар об
e_3	Ҳалшавандагии карбонати натрий дар об
e_4	Ҳалшавандагии карбонати калсий дар об

E_1^3	Нүқтаи якçоя кристаллизатсияшавии Мб + Гп дар системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E_2^3	Нүқтаи якçоя кристаллизатсияшавии С·10 + Гл дар системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E_3^3	Нүқтаи якçоя кристаллизатсияшавии Гл + Сс дар системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E_4^3	Нүқтаи якçоя кристаллизатсияшавии Мб + С·10 дар системаи $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E_5^3	Нүқтаи якçоя кристаллизатсияшавии Гп + Сс дар системаи $\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E_1^4	Нүқтаи якçоя кристаллизатсияшавии Мб + С·10 + Гп дар системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E_2^4	Нүқтаи якçоя кристаллизатсияшавии Сс + Гп + Гл дар системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E_3^4	Нүқтаи якçоя кристаллизатсияшавии Гл + С·10 + Гп дар системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
$E_1^3 — E_1^4$	Хатти якçоя кристаллизатсияшавии Мб + Гп дар системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
$E_2^3 — E_3^4$	Хатти якçоя кристаллизатсияшавии С·10 + Гл дар системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
$E_3^3 — E_2^4$	Хатти якçоя кристаллизатсияшавии Гл + Сс дар системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
$E_4^3 — E_1^4$	Хатти якçоя кристаллизатсияшавии Мб + С·10 дар системаи $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
$E_5^3 — E_2^4$	Хатти якçоя кристаллизатсияшавии Сс + Гп дар системаи $\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
$E_1^3 \text{Na}_2\text{SO}_4 E_4^3 E_1^4 E_1^3$	Майдони кристаллизатсияи Мб
$E_4^3 \text{Na}_2\text{CO}_3 E_2^3 E_3^4 E_1^4 E_4^3$	Майдони кристаллизатсияи С·10
$E_2^3 E_3^4 E_2^4 E_3^3 E_2^3$	Майдони кристаллизатсияи Гл

$E_3^3 CaCO_3 E_5^3 E_2^4 E_3^3$	Майдони кристаллизатсияи Сс
$E_1^3 E_1^4 E_3^4 E_2^4 E_5^3$ $CaSO_4 E_1^3$	Майдони кристаллизатсияи Гп

Таҳлили ренгенофазавии фазаҳои сахти мувозинатӣ дар дифрактограммаи ДРОН – 3 гузаронида шуд (филтронӣ дар CuK_{α} радиатсия бошад Ni – фильтр). Суръати наворгирии дифрактограмма 30 угл.с/мин. ташкил менамуд. Дифрактограмма дар ҳар 0.1 дараҷа сабт шудааст. Масофаи байниҳамвориҳо (d_{hkl}) ба қунҷҳои инъикоси (θ) ҷадвалҳои [87, 88] мувофиқат менамояд.

Дар расми 17 дифрактограммаи фазаҳои алоҳидаи сахти мувозинатии системаи $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$ барои майдонҳои дивариантӣ, ҳатҳои моновариантӣ ва нуқтаҳои нонвариантӣ дар ҳарорати $0^{\circ}C$ оварда шудааст.



Расми 17. Схемаи ренгенограммаи фазаҳои сахти мувозинатии системаи $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$ дар $0^{\circ}C$: а) Мб + Гп + С·10 (нуқтаи E_1^4); б) Гп + Гл + Сс (нуқтаи E_2^4); в) Гп + С·10 + Гл (нуқтаи E_3^4); 1 – Мб, 2 – Гп, 3 – С·10, 4 – Сс, 5 – Гл

Бояд қайд намуд, ки ҳалшавандагии системаи чоркомпонентаи мазкур дар ҳарорати 0 °C аз ҷониби мо омӯхта шуда натиҷаи муҳимтаринро ба даст овардем. Натиҷао дар корҳои [89, 90] ба нашр расида, баррасӣ шудаанд.

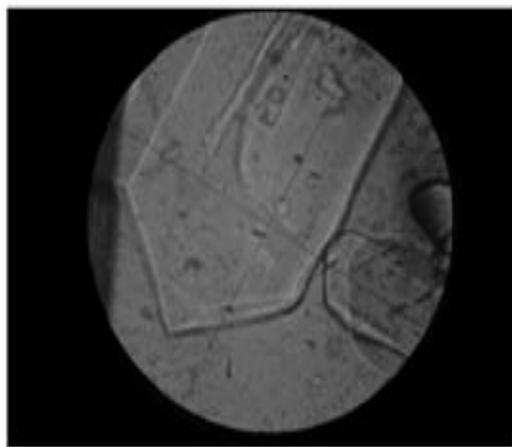
3.3. Изотермаи ҳалшавандагии системаи



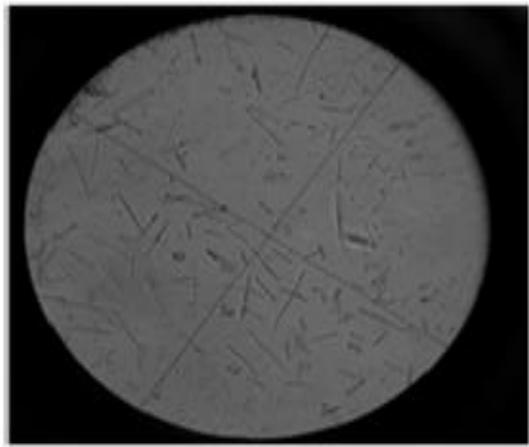
Изотермаи ҳалшавандагӣ дар нуқтаҳои нонвариантии системаи химиявии Na^+ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$, $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар 25 °C дар бахши зерин мавриди муҳокима қарор гирифтааст, ки соҳтори диаграммаи мувозинатҳои фазагии он дар [74] нашр шудааст.

Системаи муовизаи Na^+ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$, $\text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ аз қисмҳои таркибии сулфат, карбонатҳои натрийю калтсий иборат мебошанд. Онҳо дар ҳарорати 25 °C 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 - калтсит (Cc); $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ - С10 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 химияви тоза); Na_2CO_3 (тоза); CaCO_3 (тоза).

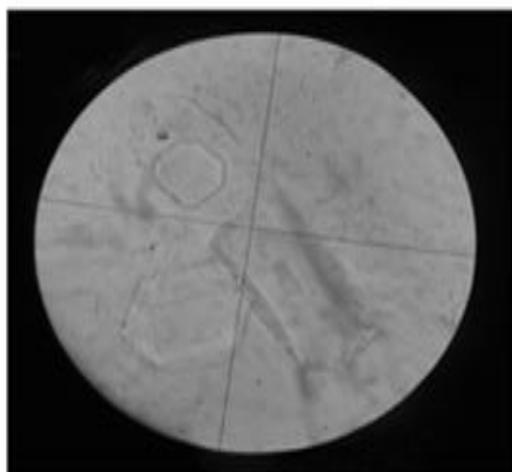
Микроаксҳои фазаҳои саҳт, ки дар натиҷаи таҳлили кристаллооптикий барои майдонҳо, хатҳо ва нуқтаҳо муайя гаштааст, дар расми 18 оварда шудаанд.



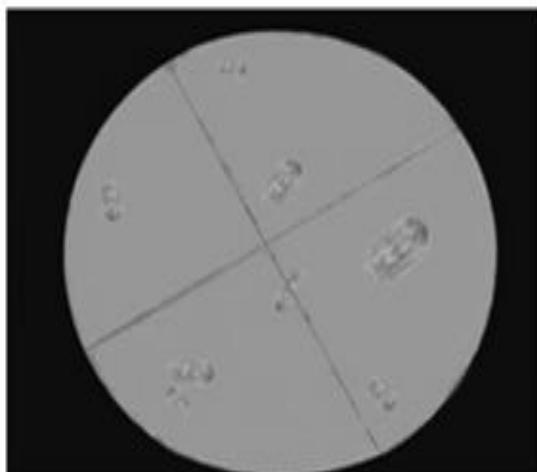
M6



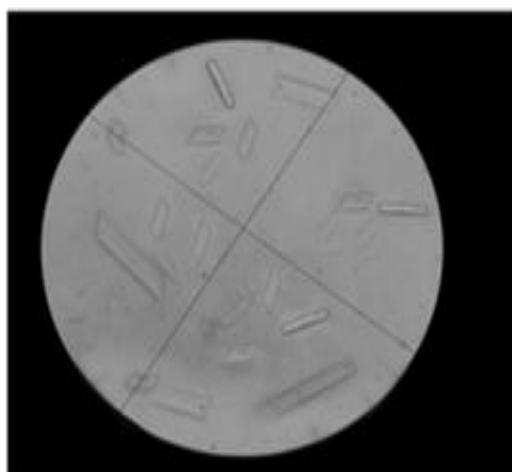
C-10



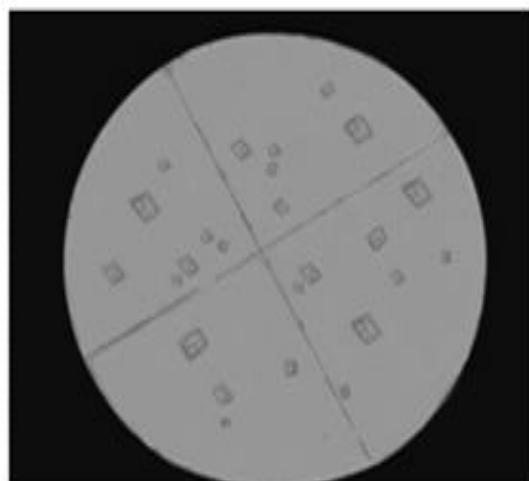
Г6



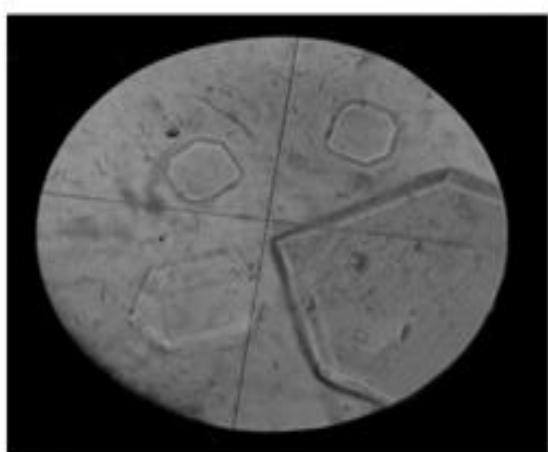
Гл



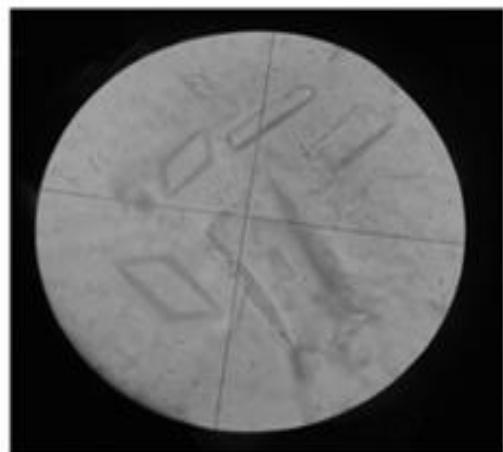
Гп



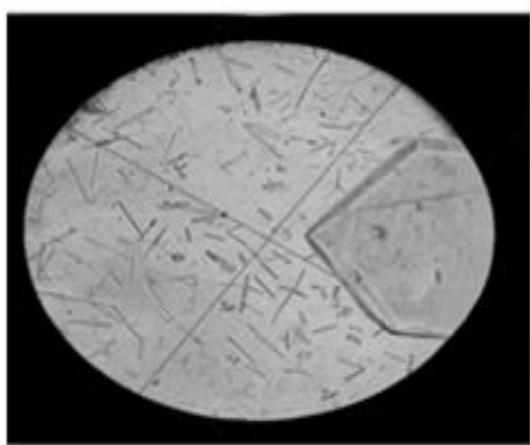
Сс



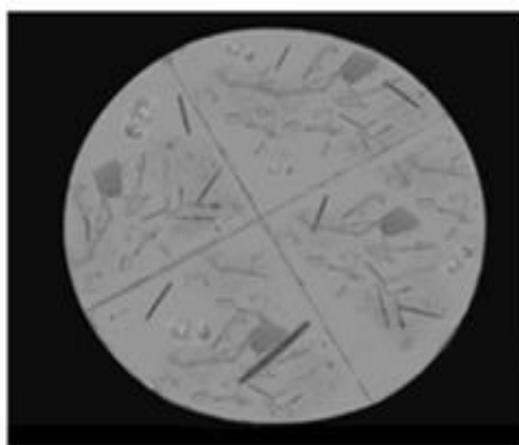
M6+Гб



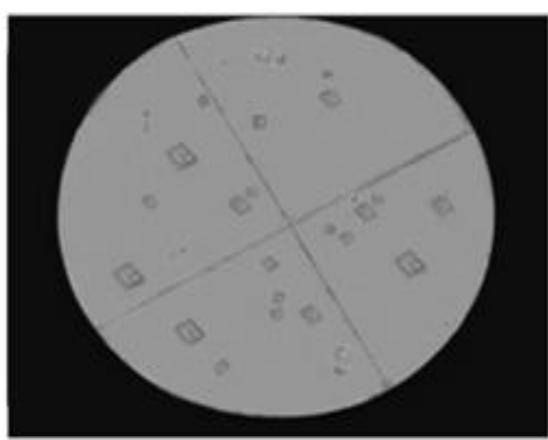
Гп+Гб



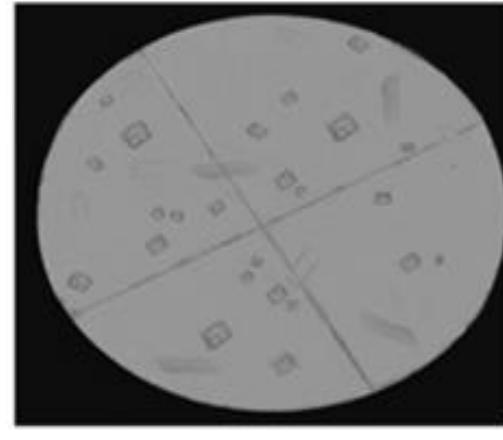
M6+С-10



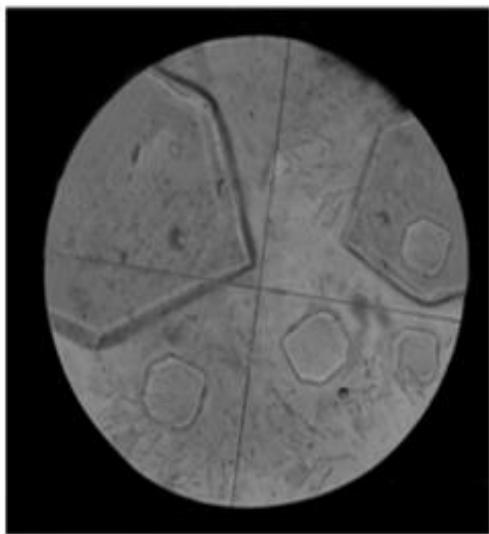
Гл+С-10



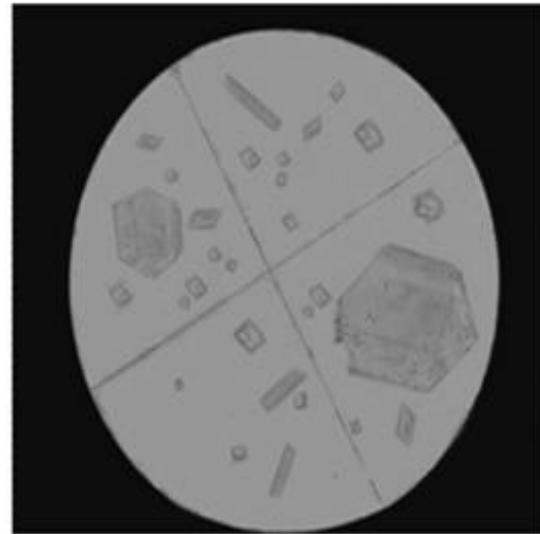
Гл+Cc



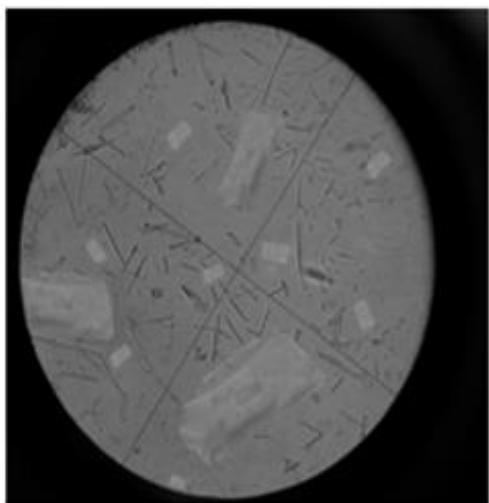
Гп+Cc



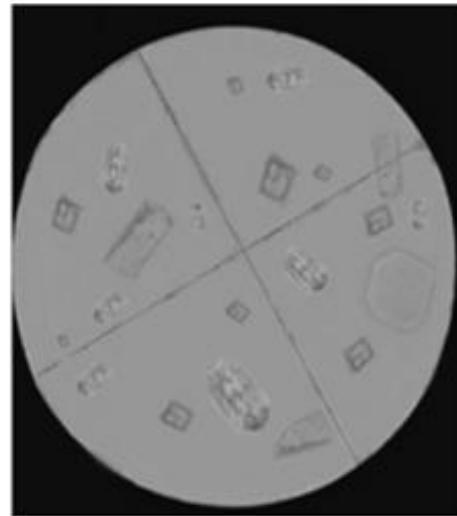
М6+Г6+С10



Г6+Гп+Сс



Г6+Гл+С10



Г6+Гл+Сс

Расми 18. Микроакси фазаҳои сахти мувозинатӣ дар системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$, барои ҳарорати 25°C

Баъди ба мувозинат омадан, фазаҳои сахтро аз маҳлул бо ёрии насоси вакуумӣ дар қифи Бюхнер ҷудо кардем. Тахшинро пас аз филтронидан бо маҳлули 96 % спирти этил шуста, дар ҳарорати 120°C хушк намудем. Барои таҳлили химиявӣ аз усулҳои маълум [91-93] истифода кардем.

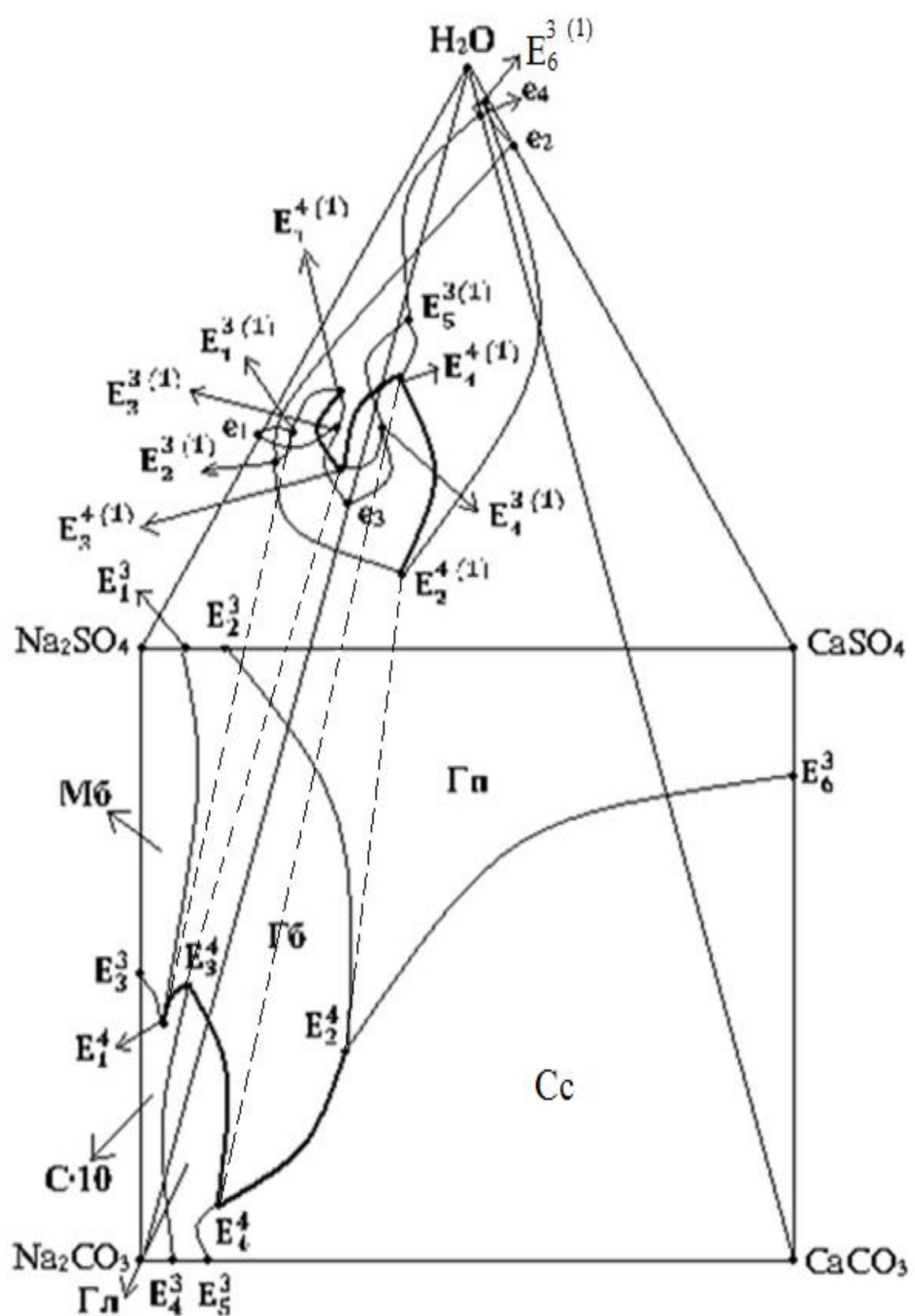
Дар ҷадвали 14 маълумотҳои ҳалшавандагӣ дар системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ оварда шудаанд.

Чадвали 14. Ҳалшавандагии системаи Na^+ , Ca^{2+} || SO_4^{2-} , CO_3^{2-} - H_2O

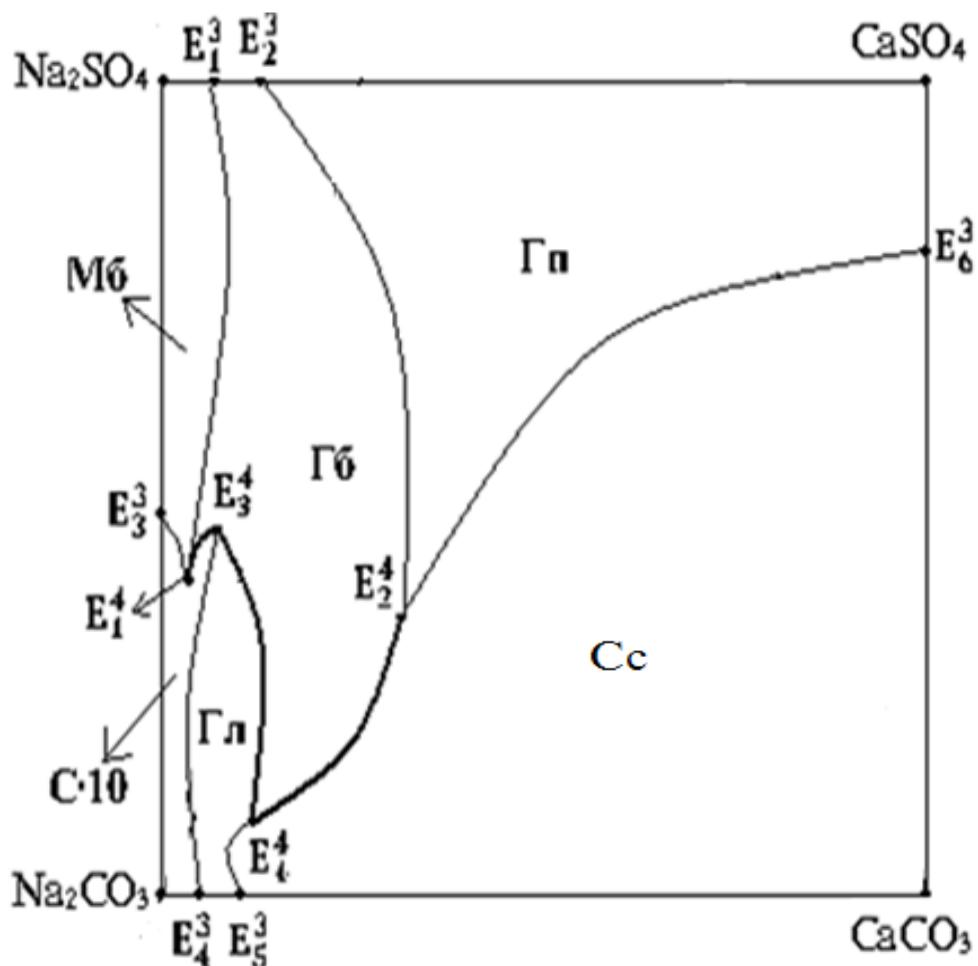
дар ҳарорати 25°C

Нүқта	Таркиби фазаҳои моеъ, мас.%					Фазаҳои саҳти 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	$C \cdot 10$
e_4	-	-	-	0.0048	99.9952	C_c
E_1^3	21.75	0.197	-	-	78.05	$M_b + G_b$
E_2^3	25.78	0.188	-	-	74.032	$G_p + G_b$
E_3^3	16.40	-	18.40	-	65.30	$M_b + C \cdot 10$
E_4^3	-	-	5.649	0.00349	94.347	$C \cdot 10 + G_l$
E_5^3	-	-	4.5	0.0024	95.497	$G_l + C_c$
E_6^3	-	0.213	-	0.0048	99.782	$G_p + C_c$
E_1^4	14.2	0.273	19.6	-	65.927	$M_b + C \cdot 10 + G_b$
E_2^4	-	0.408	18.55	0.00547	80.987	$G_p + G_b + C_c$
E_3^4	12.52	-	19.45	0.00521	64.977	$C \cdot 10 + G_l + G_b$
E_4^4	-	0.328	20.7	0.00431	78.928	$C_c + G_b + G_l$

Дар асоси далелҳои ба дастовардашуда маротибаи аввал диаграммаи ҳалшавандагии системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} || \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 25°C соҳта шуд, ки он дар расми 19 (а) қисми оби намакӣ, б) қисми намакӣ оварда шудааст.



a)



б)

Расми 19. Диаграммаи ҳалшавандагии системаи химиявии

$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ барои ҳарорати 25°C :

а) шакли обӣ-намакӣ; б) шакли намакӣ

Номгӯи элементҳои геометрии (нуқтаҳо, хатҳо, майдонҳо) дар расми 19 ҷойдошта, дар ҷадвали 15 оварда шудааст.

Ҷадвали 15. Номгӯи шаклҳои геометрии диаграммаи системаи химиявии $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ барои ҳарорати 25°C

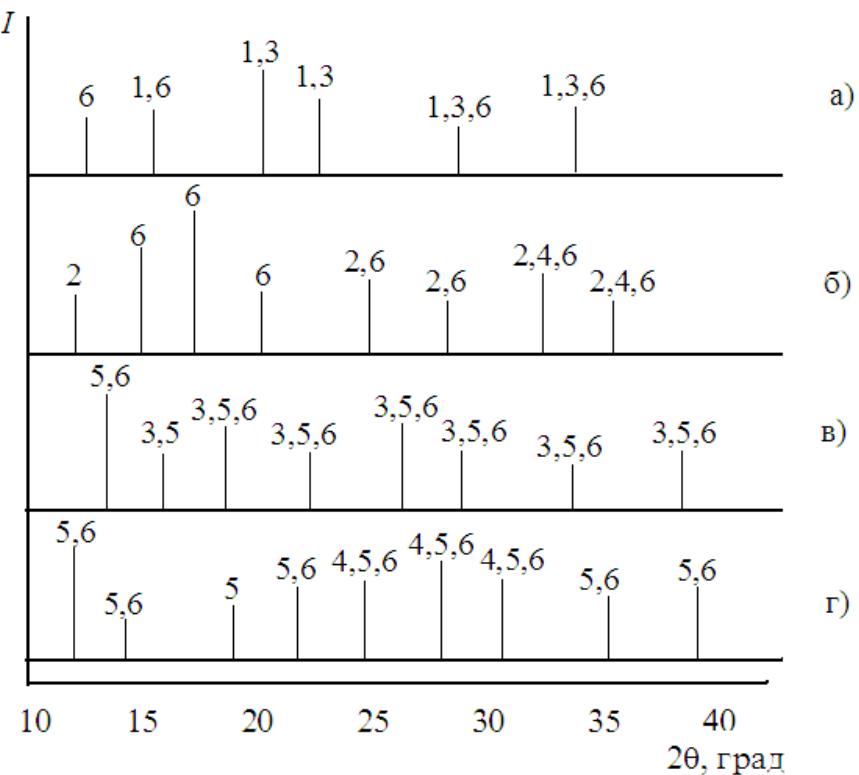
Ишораи элементҳои геометрӣ	Мазмуни элементҳои геометрӣ дар диаграмма
1	2
e_1	Ҳалшавандагии сулфати натрий дар об

e_2	Халшавандагии сулфати калсий дар об
e_3	Халшавандагии карбонати натрий дар об
e_4	Халшавандагии карбонати калсий дар об
E_1^3	Нүктаи якчоя кристаллизатсияшавии $M\bar{b} + G\bar{b}$ дар системаи $Na^+ - Ca^{2+} - SO_4^{2-} - H_2O$
E_2^3	Нүктаи якчоя кристаллизатсияшавии $G\bar{b} + Gp$ дар системаи $Na^+ - Ca^{2+} - SO_4^{2-} - H_2O$
E_3^3	Нүктаи якчоя кристаллизатсияшавии $M\bar{b} + C \cdot 10$ дар системаи $Na^+ - SO_4^{2-} - CO_3^{2-} - H_2O$
E_4^3	Нүктаи якчоя кристаллизатсияшавии $C \cdot 10 + Gl$ дар системаи $Na^+ - Ca^{2+} - CO_3^{2-} - H_2O$
E_5^3	Нүктаи якчоя кристаллизатсияшавии $Gl + Cs$ дар системаи $Na^+ - Ca^{2+} - CO_3^{2-} - H_2O$
E_6^3	Нүктаи якчоя кристаллизатсияшавии $Gp + Cs$ дар системаи $Ca^{2+} - SO_4^{2-} - CO_3^{2-} - H_2O$
E_1^4	Нүктаи якчоя кристаллизатсияшавии $M\bar{b} + C \cdot 10 + G\bar{b}$ дар системаи $Na^+, Ca^{2+} SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$
E_2^4	Нүктаи якчоя кристаллизатсияшавии $Cs + Gp + G\bar{b}$ дар системаи $Na^+, Ca^{2+} SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$
E_3^4	Нүктаи якчоя кристаллизатсияшавии $G\bar{b} + C \cdot 10 + Gl$ дар системаи $Na^+, Ca^{2+} SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$
E_4^4	Нүктаи якчоя кристаллизатсияшавии $G\bar{b} + Cs + Gl$ дар системаи $Na^+, Ca^{2+} SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$
$E_1^3 — E_1^4$	Хатти якчоя кристаллизатсияшавии $M\bar{b} + G\bar{b}$ дар системаи $Na^+ - Ca^{2+} - SO_4^{2-} - H_2O$
$E_2^3 — E_2^4$	Хатти якчоя кристаллизатсияшавии $G\bar{b} + Gp$ дар системаи $Na^+ - Ca^{2+} - SO_4^{2-} - H_2O$
$E_3^3 — E_1^4$	Хатти якчоя кристаллизатсияшавии $C \cdot 10 + M\bar{b}$ дар системаи $Na^+ - SO_4^{2-} - CO_3^{2-} - H_2O$

$E_4^3 — E_3^4$	Хатти якчоя кристаллизатсияшавии $C \cdot 10 + Гл$ дар системаи $Na^+—Ca^{2+}—CO_3^{2-}—H_2O$
$E_5^3 — E_4^4$	Хатти якчоя кристаллизатсияшавии $Cc + Гл$ дар системаи $Na^+—Ca^{2+}—CO_3^{2-}—H_2O$
$E_6^3 — E_2^4$	Хатти якчоя кристаллизатсияшавии $Cc + Гп$ дар системаи $Ca^{2+}—SO_4^{2-}—CO_3^{2-}—H_2O$
$E_1^3 Na_2SO_4 E_3^3 E_1^4 E_1^3$	Майдони кристаллизатсияи $Mб$
$E_3^3 Na_2CO_3 E_4^3 E_3^4 E_1^4 E_3^3$	Майдони кристаллизатсияи $C \cdot 10$
$E_4^3 E_3^4 E_4^4 E_5^3 E_4^3$	Майдони кристаллизатсияи $Гл$
$E_1^3 E_1^4 E_3^4 E_4^4 E_2^4 E_2^3 E_1^3$	Майдони кристаллизатсияи $Гб$
$E_5^3 CaCO_3 E_6^3 E_2^4 E_4^4 E_5^3$	Майдони кристаллизатсияи Cc
$E_2^3 E_2^4 E_6^3 CaSO_4 E_2^3$	Майдони кристаллизатсияи $Гп$

Таҳлили ренгенофазавии фазаҳои сахти мувозинатӣ дар дифрактограммаи ДРОН – 3 гузаронида шуд (филтронӣ дар CuK_{α} радиатсия бошад Ni – фильтр). Суръати наворгирии дифрактограмма 30 угл.с/мин. ташкил менамуд. Дифрактограмма дар ҳар 0.1 градус сабт шудааст. Масофаи байниҳамвориҳо (d_{hkl}) ба қунҷҳои инъикоси (θ) ҷадвалҳои [87, 88] мувофиқат менамояд.

Дар расми 20 дифрактограммаи шаклҳои алоҳидаи фазаҳои сахти мувозинатии системаи $Na^+, Ca^{2+}||SO_4^{2-}, CO_3^{2-}—H_2O$ барои майдонҳои дивариантӣ, хатҳои моновариантӣ ва нуқтаҳои нонвариантӣ дар ҳарорати $25^{\circ}C$ оварда шудааст.



Расми 20. Схемаи ренгенограммаи фазаҳои саҳти мувозинатии системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} \cdot \text{H}_2\text{O}$ дар $25\text{ }^{\circ}\text{C}$: а) Мб + Гб + C·10 (нуктаи E₁⁴); б) Гп + Гб + Cс (нуктаи E₂⁴); в) C·10 + Гб + Гл (нуктаи E₃⁴); г) Cс + Гб + Гл (нуктаи E₄⁴); 1 – Мб, 2 – Гп, 3 – C·10, 4 – Cс, 5 – Гл, 6 – Гб.

Ҳалшавандагии системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} \cdot \text{H}_2\text{O}$ дар $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ маротибаи аввал аз ҷониби мо омӯхта шуда, дар корҳои [95, 96] ба нашр расида, аз аппробатсия гузаштааст.

3.4. Изотермаи ҳалшавандагии системаи

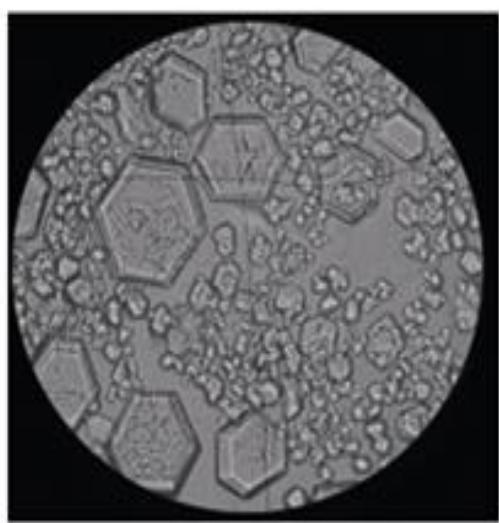
$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} \cdot \text{H}_2\text{O}$ дар $50\text{ }^{\circ}\text{C}$

Дар бахши зерин ҳалшавандагӣ дар элементҳои геометрии системаи химиявии $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} \cdot \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорат $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ мавриди муҳокима қарор гирифтааст, ки сохтори диаграммаи комплексҳои фазагии он дар корҳои [76, 77] нашр шудааст.

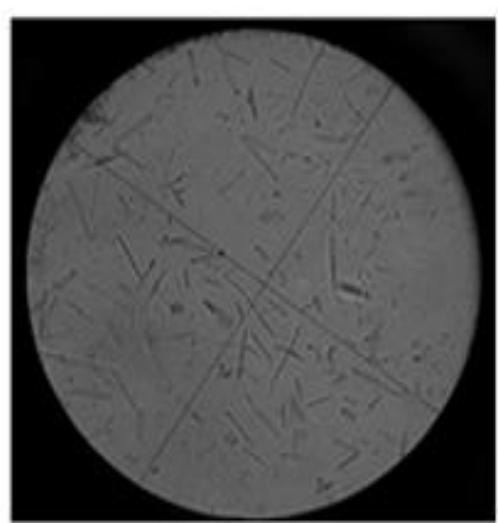
Қисмҳои таркибии системаи таҳқиқшавандай мазкур - ин сулфат, карбонатҳои натрийю калтсий мебошанд, ки онҳо дар ҳарорати $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ дар шакли CaCO_3 – калтсит (Cc), $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – $\text{C}\cdot 1$, гейлюссит – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Гл), тенардит – Na_2SO_4 (Te),

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 [97]. 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 химияви тоза); Na_2CO_3 (тоза); CaCO_3 (тоза).

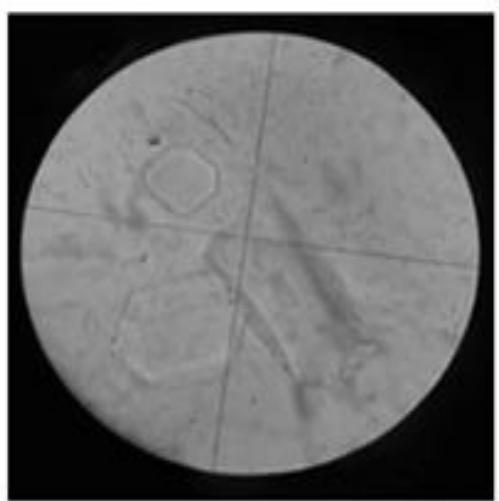
Таҷрибаро аз рӯи нақшай зерин гузаронидем: маҳлулҳои сери системаҳои $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ва $\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ -ро бо таҳшинҳояшон, мутобиқ ба схемаи транслятсия якҷоя карда, дар ҳарорати $50\ ^\circ\text{C}$ дар термостат оmezиш додем. Оmezишро бо ёрии омехтакунаки магнитӣ дар муддати 50-100 соат то ба мувозинат омадани система давом додем. Ҳароратро бо ёрии термометри контактӣ назорат кардем. Кристаллизатсияи фазаҳои саҳт бо ёрии микроскопи тамғаи «ПОЛАМ-Р 311» назорат карда шуда, баъди ба мувозинат омадан фазаҳои саҳтро бо ёрии аксбардори тамғаи «Sony Alpha ILCE-7M3 body» аксбардорӣ кардем. Натиҷаи таҳлили кристаллооптикий фазаҳои саҳт дар майдонҳо, ҳатҳо ва нуқтаҳо дар расми 21 оварда шудаанд.



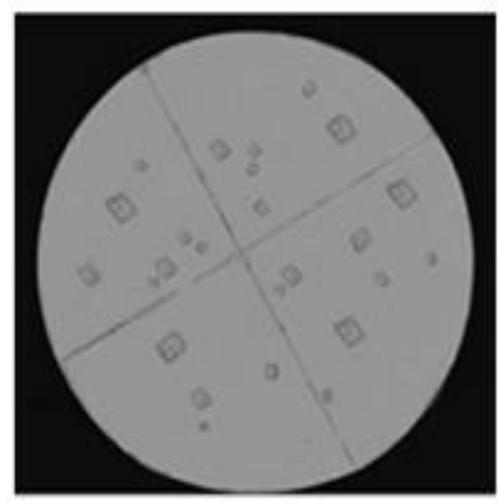
Бр



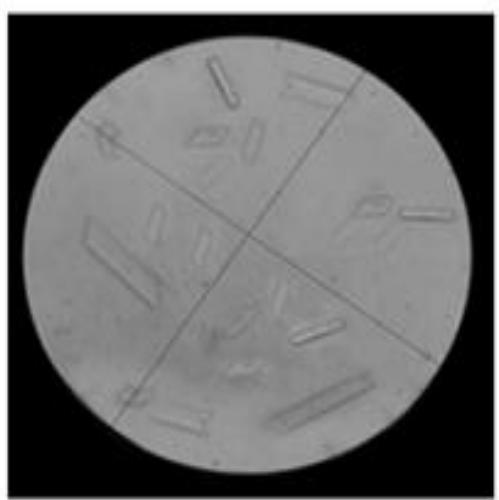
Cx1



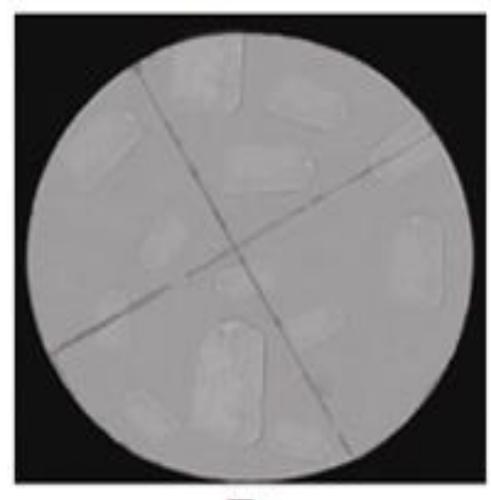
Г6



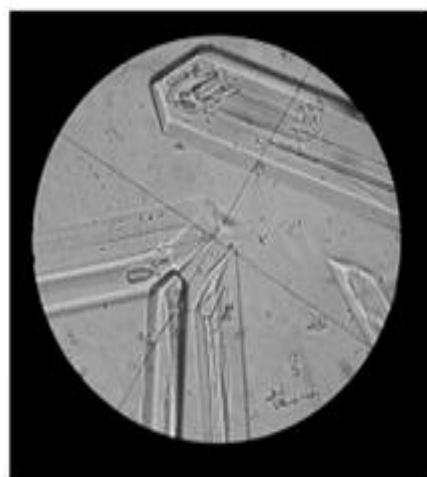
Сс



Гп



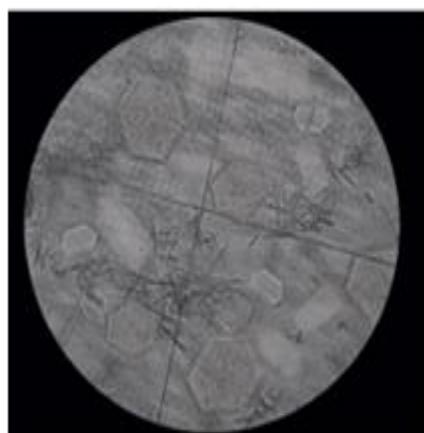
Пр



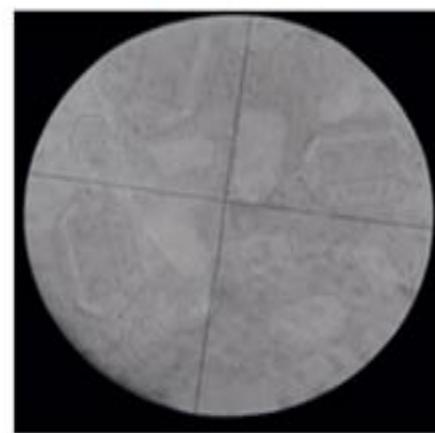
Te



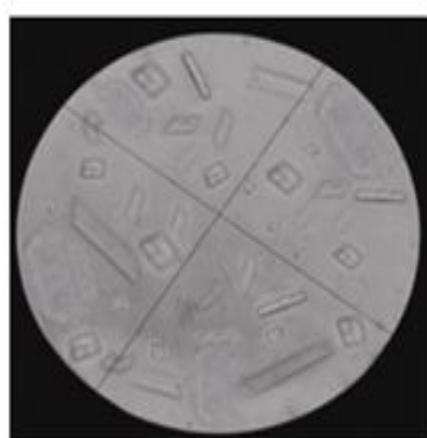
Te+Br+Гб



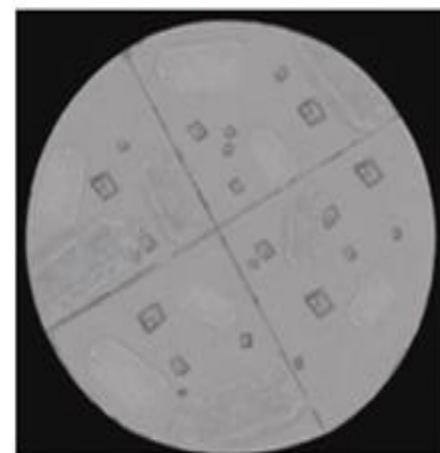
Br+Пр+С1



Гб+Пр+Br



Гп+Сс+Гб



Сс+Гб+Пр

Расми 21. Микроаксхой фазаҳои сахти мувозинатӣ дар системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ барои ҳарорати 50°C

Фазаҳои сахтро аз маҳлул бо ёрии насоси вакумӣ дар қифи Бюхнер ҷудо кардем. Таҳшинро пас аз филтронидан бо маҳлули 96 %

спирти этил шуста, дар ҳарорати 120 °C хушк намудем. Барои таҳлили химиявӣ аз усулҳои маълум [91-93] истифода намудем.

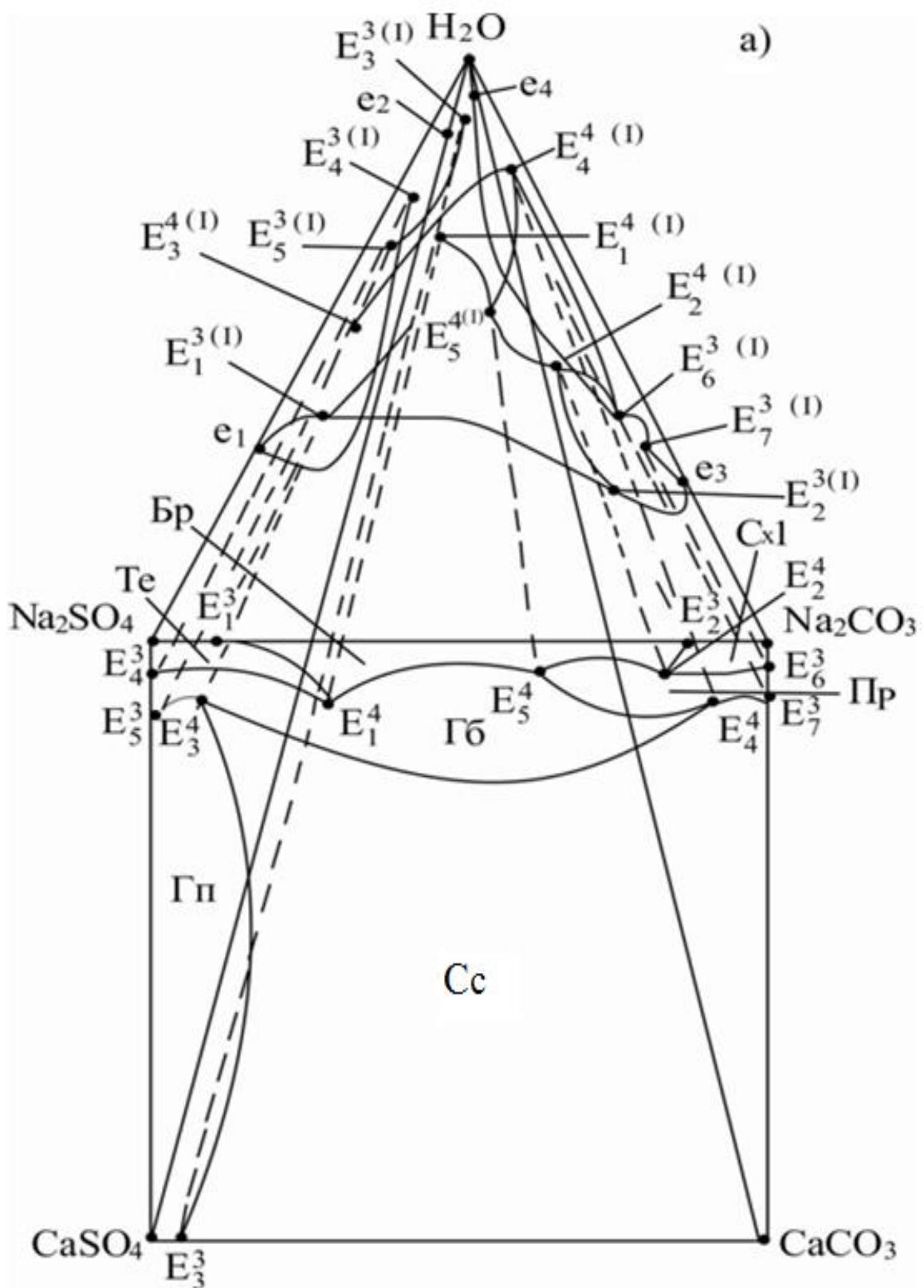
Дар ҷадвали 16 маълумотҳо оиди ҳалшавандагӣ дар системаи Na^+ , Ca^{2+} || SO_4^{2-} , CO_3^{2-} - H_2O ҷамъ оварда шудаанд (ҳарорат 50 °C).

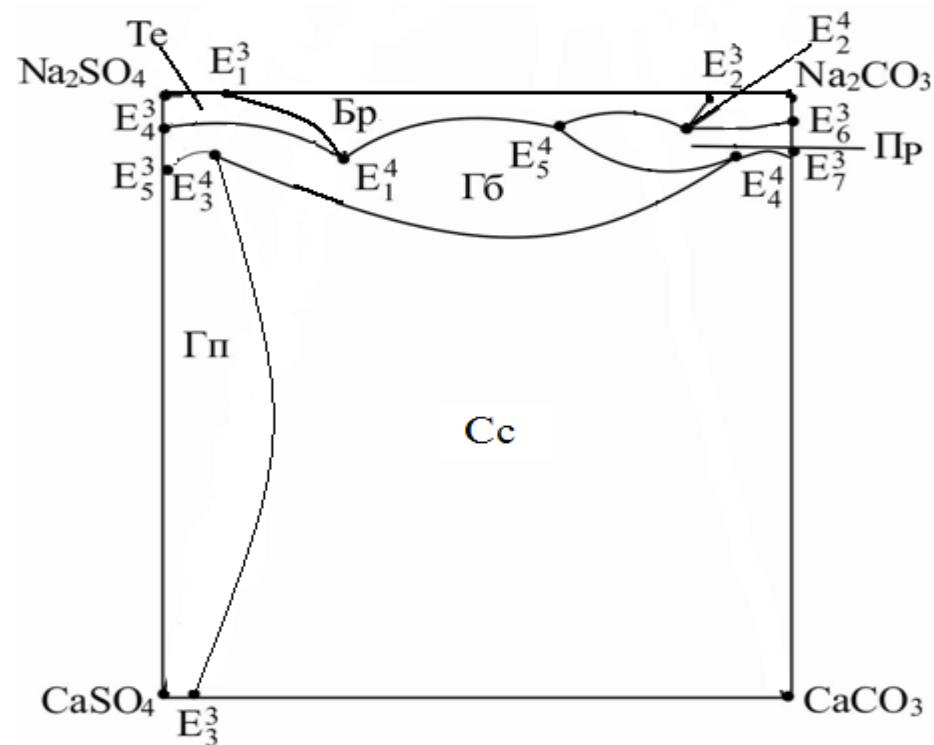
Ҷадвали 16. Ҳалшавандагии системаи Na^+ , Ca^{2+} || SO_4^{2-} , CO_3^{2-} - H_2O
дар ҳарорати 50 °C

Нуқтаҳои нонвариантӣ	Таркиби фазаҳои моеъ, мас. бо %					Фазаҳои саҳти мувозинатӣ
	Na_2CO_3	CaCO_3	NaHCO_3	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	H_2O	
e_1	31.8	—	—	—	68.2	Te
e_2	—	0.210	—	—	99.79	Gp
e_3	—	—	32.1	—	67.9	Cx1
e_4	—	—	—	0.0054	99.9946	Cc
E_1^3	22.47	—	10.52	—	67.01	Te+Bp
E_2^3	5.87	—	28.52	—	65.61	Bp+Cx1
E_3^3	—	0.107	—	0.0042	99.888	Gp+Cc
E_4^3	3.30	0.166	—	—	96.534	Te+Gб
E_5^3	3.88	0.274	—	—	95.846	Gб+Gp
E_6^3	—	—	24.78	0.0039	75.216	Cx1+Pr
E_7^3	—	—	20.93	0.0041	79.065	Pr+Cc
E_1^4	1.521	0.148	3.743	—	94.588	Te+Bp+Gб
E_2^4	3.719	—	13.98	0.00375	82.297	Cx1+Bp+Pr
E_3^4	8.923	0.162	—	0.0047	90.910	Gp+Cc+Gб
E_4^4	—	0.136	2.77	0.0046	97.089	Cc+Pr+Gб
E_5^4	6.17	—	9.01	0.0063	84.813	Gб+Bp+Pr

Дар асоси далелҳои ба дастовардашуда маротибаи аввал диаграммаи ҳалшавандагии системаи Na^+ , Ca^{2+} || SO_4^{2-} , CO_3^{2-} - H_2O дар

харорати 50 °C сохта шуд, ки он дар расми 22 (а) қисми оби-намакӣ, б) қисми намакӣ) оварда шудааст.





б)

Расми 22. Диаграммаи ҳалшавандагии системаи чоркомпонентаи

$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ барои ҳарорати 50°C :

а) шакли обӣ-намакӣ; б) шакли намакӣ.

Номгӯи элементҳои геометрии (нуқтаҳо, хатҳо, майдонҳо) дар расми 22 ҷойдошта, дар ҷадвали 17 оварда шудааст.

Ҷадвали 17. Номгӯи элементҳои геометрии шаклҳои геометрии

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

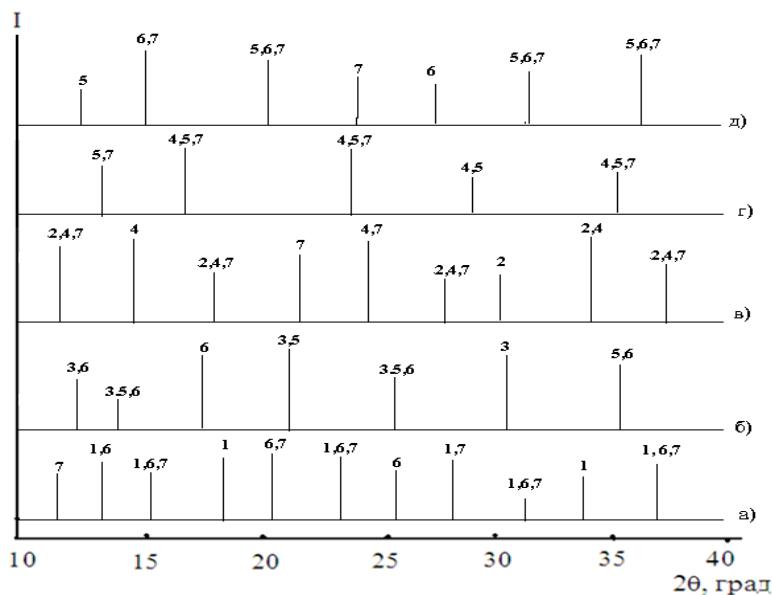
Ишораи элементҳои геометриӣ	Мазмуни элементҳои геометриӣ дар диаграмма
e_1	Ҳалшавандагии сулфати натрий дар об
e_2	Ҳалшавандагии сулфати калсий дар об
e_3	Ҳалшавандагии карбонати натрий дар об
e_4	Ҳалшавандагии карбонати калсий дар об
E_1^3	Нуқтаи якҷоя кристаллизатияшавии $\text{Te} + \text{Br}$ дар системаи $\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$

E_2^3	Нүқтаи якчоя кристаллизатсияшавии Бр + С·1 дар системаи $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E_3^3	Нүқтаи якчоя кристаллизатсияшавии Гп + Сс дар системаи $\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E_4^3	Нүқтаи якчоя кристаллизатсияшавии Тe + Гб дар системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E_5^3	Нүқтаи якчоя кристаллизатсияшавии Гб + Гп дар системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E_6^3	Нүқтаи якчоя кристаллизатсияшавии С·1 + Пр дар системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E_7^3	Нүқтаи якчоя кристаллизатсияшавии Пр + Сс дар системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E_1^4	Нүқтаи якчоя кристаллизатсияшавии Тe + Бр + Гб дар системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E_2^4	Нүқтаи якчоя кристаллизатсияшавии Бр + Сх1 + Пр дар системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E_3^4	Нүқтаи якчоя кристаллизатсияшавии Гб+Гп+Сц дар системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E_4^4	Нүқтаи якчоя кристаллизатсияшавии Пр+Сц+Гб дар системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E_5^4	Нүқтаи якчоя кристаллизатсияшавии Пр + Бр + Гб дар системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
$E_1^3 — E_1^4$	Хатти качи кристаллизационии Тe + Бр дар системаи $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
$E_3^3 — E_3^4$	Хатти качи кристаллизационии Гп + Сц дар системаи $\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
$E_4^3 — E_1^4$	Хатти качи кристаллизационии Тe + Гб дар системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
$E_5^3 — E_3^4$	Хатти качи кристаллизационии Гб+Гп дар системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$

$E_6^3 - E_2^4$	Хатти каци кристаллизационии С·1 + Пр дар системаи $Na^+ - Ca^{2+} - CO_3^{2-} - H_2O$
$E_7^3 - E_4^4$	Хатти каци кристаллизационии Сц + Пр дар системаи $Na^+ - Ca^{2+} - CO_3^{2-} - H_2O$
$E_1^4 - E_5^4$	Хатти каци кристаллизационии Бр + Гб дар системаи $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$
$E_2^4 - E_5^4$	Хатти каци кристаллизационии Бр + Пр дар системаи $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$
$E_3^4 - E_4^4$	Хатти каци кристаллизационии Сс + Гб дар системаи $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$
$E_4^4 - E_5^4$	Хатти каци кристаллизационии Пр + Гб дар системаи $Na^+, Ca^{2+} \parallel SO_4^{2-}, CO_3^{2-} - H_2O$
$E_1^3 Na_2SO_4 E_4^3 E_1^4 E_1^3$	Майдони кристаллизацияи Те
$E_2^3 Na_2CO_3 E_6^3 E_2^4 E_2^3$	Майдони кристаллизацияи С·1
$E_1^3 E_1^4 E_5^4 E_2^4 E_2^3 E_1^3$	Майдони кристаллизацияи Бр
$E_4^3 E_1^4 E_5^4 E_4^4 E_3^4 E_5^3 E_4^3$	Майдони кристаллизацияи Гб
$E_5^3 CaSO_4 E_3^3 E_3^4 E_5^3$	Майдони кристаллизацияи Гп
$E_3^3 E_3^4 E_4^4 E_7^4 CaCO_3 E_3^3$	Майдони кристаллизацияи Сс
$E_6^3 E_2^4 E_5^4 E_4^4 E_7^3 E_6^3$	Майдони кристаллизацияи Пр

Таҳлили ренгенофазавии фазаҳои сахти мувозинатӣ дар дифрактограммаи ДРОН – З гузаронида шуд (филтронӣ дар CuK_{α} радиатсия бошад Ni – фильтр). Суръати наворгирии дифрактограмма 30 угл.с/мин. ташкил менамуд. Дифрактограмма дар ҳар 0.1 градус сабт шудааст. Масофаи байниҳамвориҳо (d_{hkl}) ба қунҷҳои инъикоси (θ) ҷадвалҳои [87, 88] мувофиқат менамояд.

Дар расми 23 дифрактограммаи фазаҳои алоҳидаи сахти мувозинатии системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ барои майдонҳои дивариантӣ, хатҳои моновариантӣ ва нуқтаҳои нонвариантӣ дар ҳарорати 50°C оварда шудааст ва таҳлили муқоисавии ҳалшавандагии онҳо дар ҳароратҳои 0 , 25 ва 50°C дар корҳои [98] оварда шудааст.



Расми 23. Схемаи ренгенограммаи фазаҳои сахти мувозинатии системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар 50°C : а) $\text{Te} + \text{Br} + \text{Гб}$ (нуқтаи E_1^4); б) $\text{Br} + \text{C}\cdot1 + \text{Пр}$ (нуқтаи E_2^4); в) $\text{Гб} + \text{Гп} + \text{Cc}$ (нуқтаи E_3^4); г) $\text{Пр} + \text{Cc} + \text{Гб}$ (нуқтаи E_4^4); д) $\text{Пр} + \text{Br} + \text{Гб}$ (нуқтаи E_5^4). 1 – Te , 2 – Гп , 3 – $\text{C}\cdot1$, 4 – Cc , 5 – Пр , 6 – Br , 7 - Гб

3.5. Изотермаи ҳалшавандагии системаи

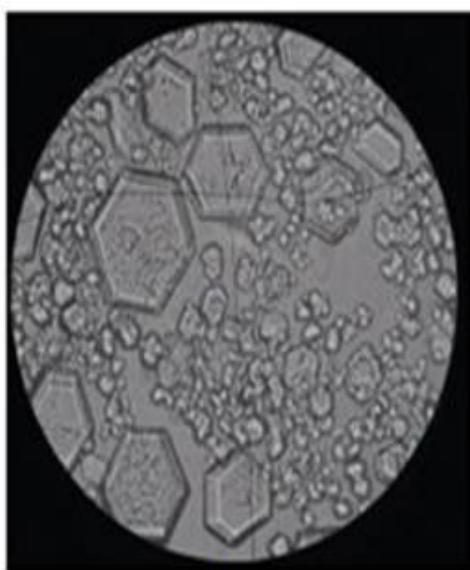
$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар 75°C

Ҳалшавандагӣ дар нуқтаҳои нонвариантии системаи чоркомпонентаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорат 75°C дар бахши зерин мавриди муҳокима қарор гирифтааст, ки соҳтори диаграммаи мувозинатҳои фазагии он дар корҳои [78-80] нашр шудааст.

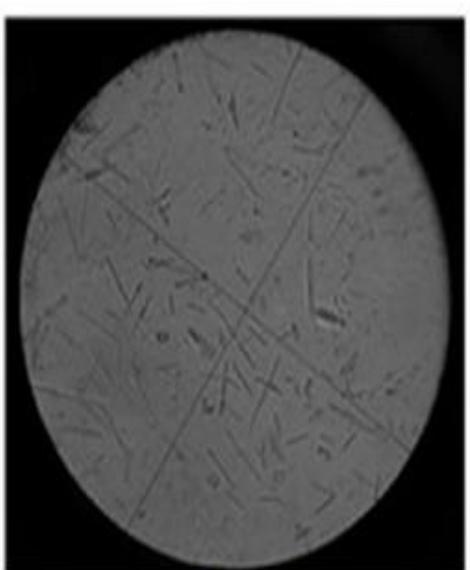
Қисмҳои таркибии системаи чоркомпонентаи мазкур - ин сулфат, карбонатҳои натрию калсий мебошанд, ки онҳо дар ҳарорати 75°C дар шакли CaCO_3 – калсит (Cc), $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – $\text{C}\cdot1$, гейлюссит – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Гл), тенардит – Na_2SO_4 (Te), 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 ҷиҳати химиявӣ тоза); $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (аз ҷиҳати химияви тоза); Na_2CO_3 (тоза); CaCO_3 (тоза).

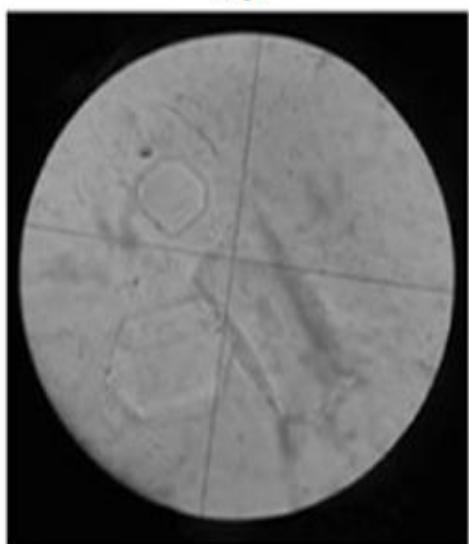
Таҷрибаро аз рӯи нақшай зерин гузаронидем: маҳлулҳои сери системаҳои $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ва $\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ -ро бо таҳшинҳояшон мутобиқ ба схемаи транслятсия якҷоя карда, дар ҳарорати $75\ ^\circ\text{C}$ дар термостат оmezиш додем. Оmezишро бо ёрии омехтакунаки магнитӣ дар муддати 50-100 соат то ба мувозинат омадани система давом додем. Ҳароратро бо ёрии термометри контактӣ назорат кардем. Кристаллизатсияи фазаҳои саҳт бо ёрии микроскопи тамғаи «ПОЛАМ-Р 311» назорат карда шуда, баъди ба мувозинат омадан фазаҳои саҳтро бо ёрии тамғаи «Sony Alpha ILCE-7M3 body» аксбардорӣ кардем. Натиҷаи таҳлили кристаллооптикийи фазаҳои саҳт дар майдонҳо, ҳатҳо ва нуқтаҳо дар расми 24 оварда шудаанд.



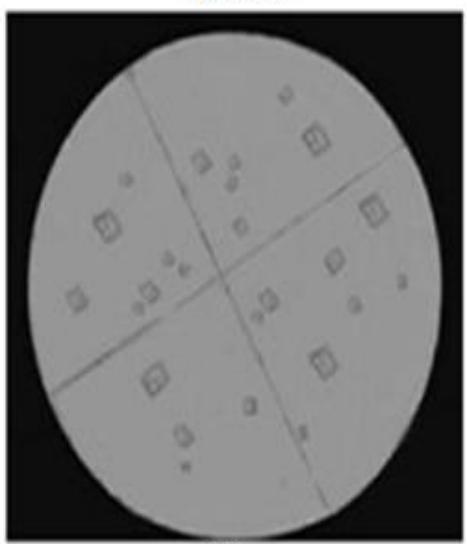
Br



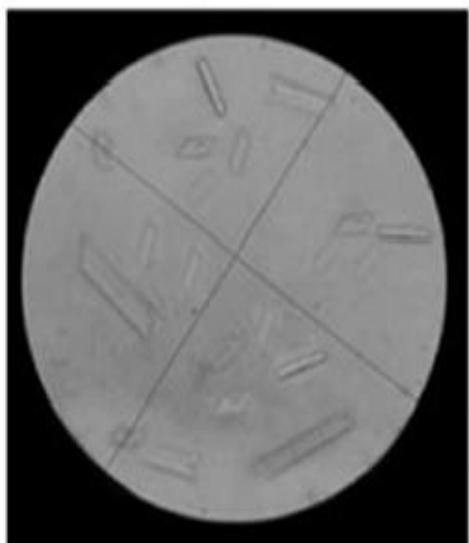
Na·1



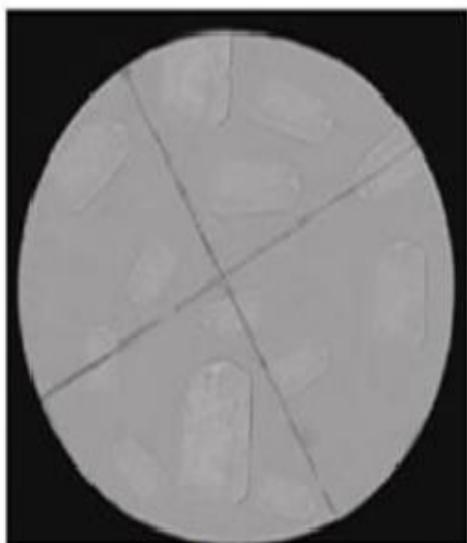
Гб



Cc



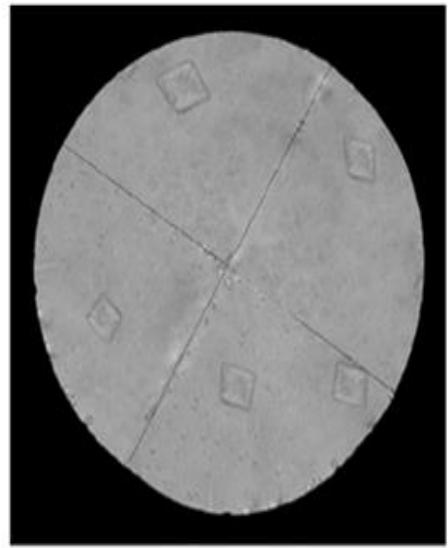
Гп



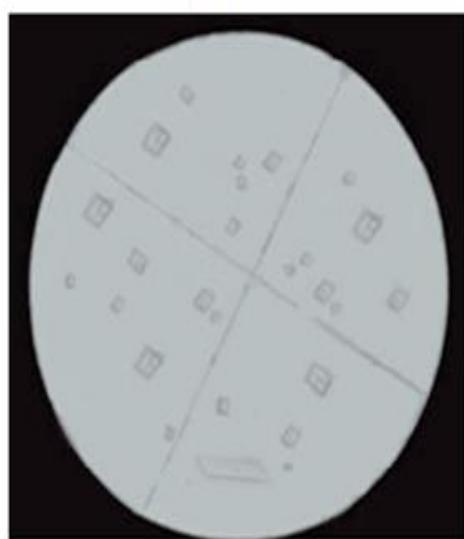
Пр



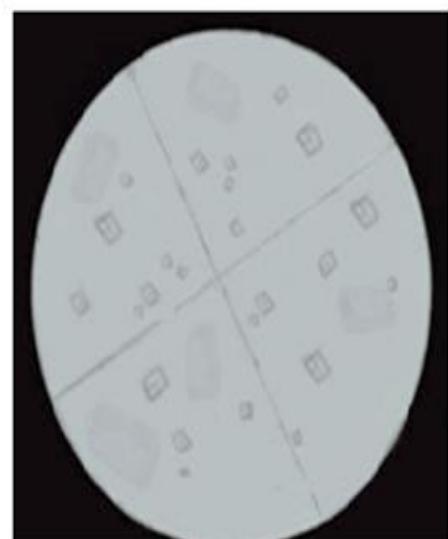
Te



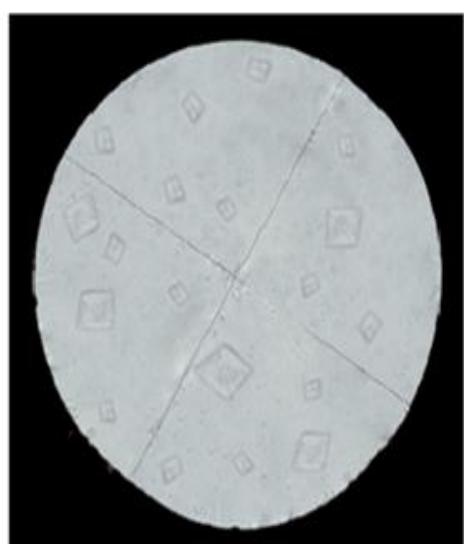
5Ca·Na·3



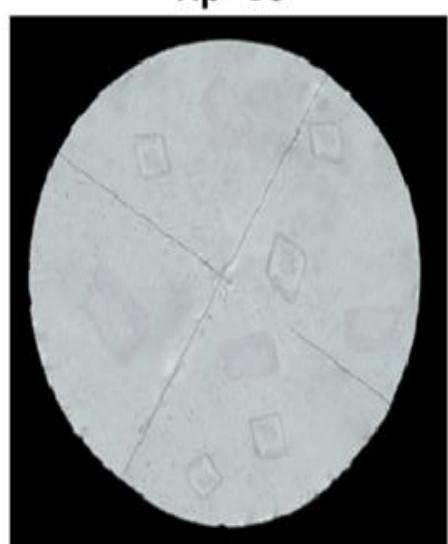
Гп+Cc



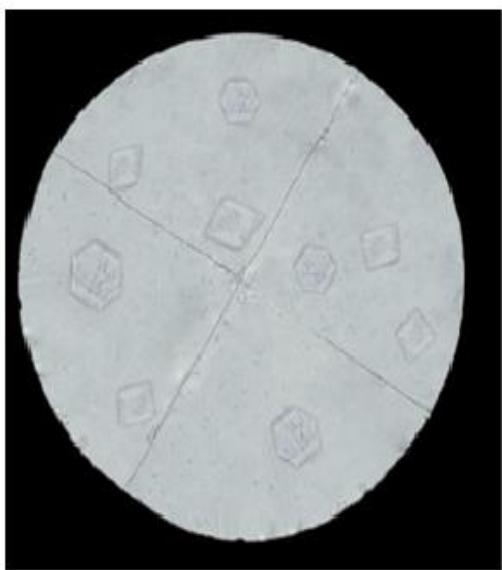
Пр+Cc



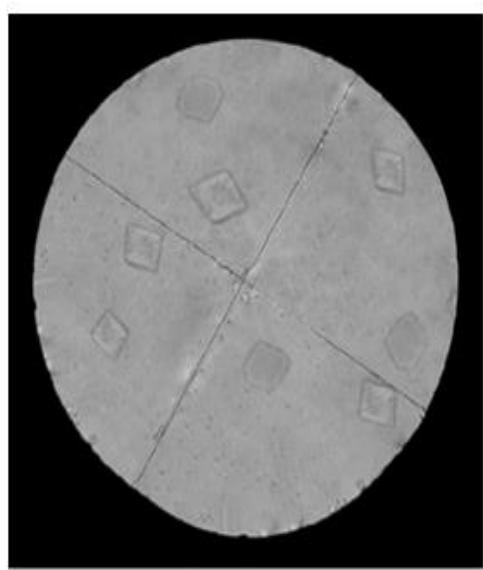
Cc+5Ca·Na·3



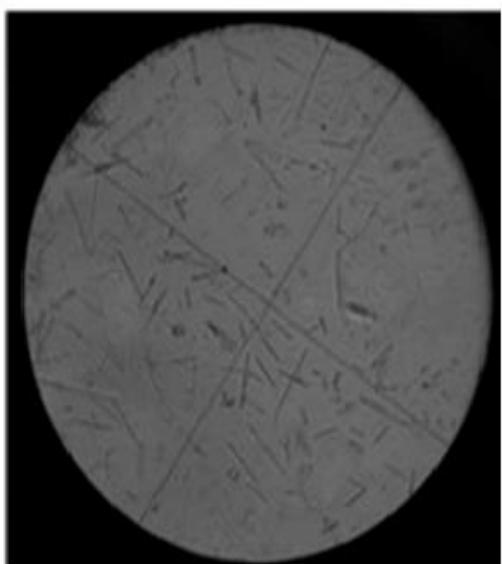
Пр+5Ca·Na·3



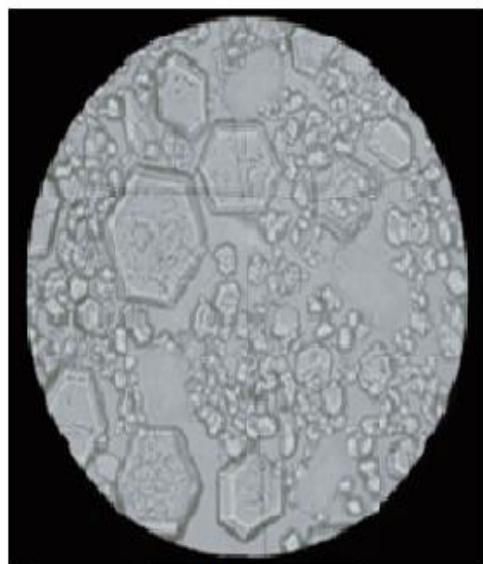
Бр+5Са·На·3



Гб+5Са·На·3



Na·1+Пр



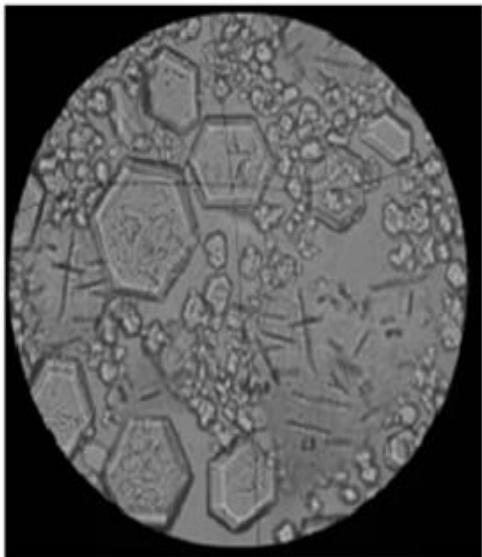
Бр+Пр



Бр+Гб



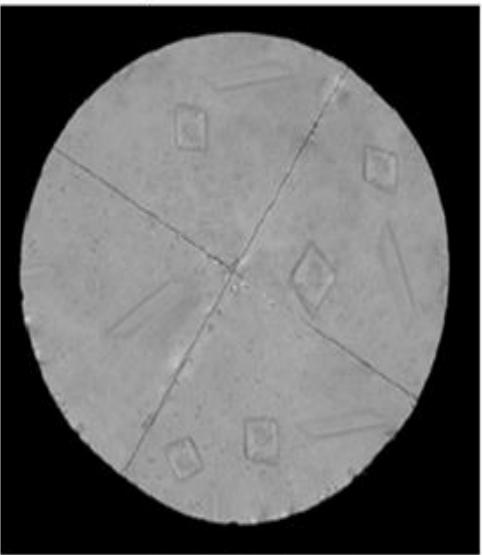
Те+Гб



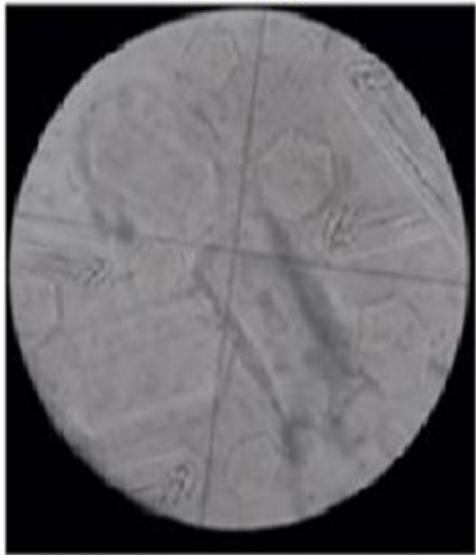
Бр+Na·1



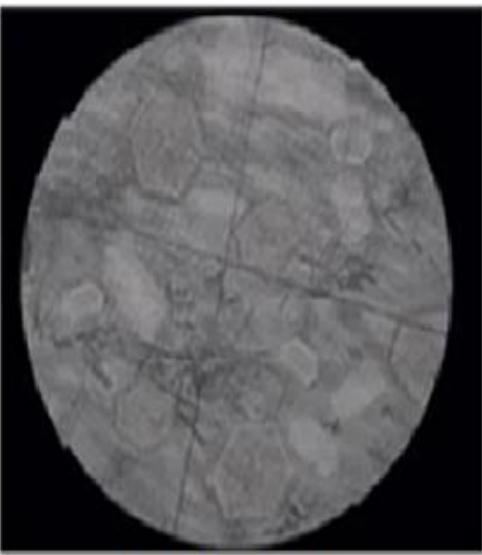
Te+Бр



Гп+5Ca·Na·3



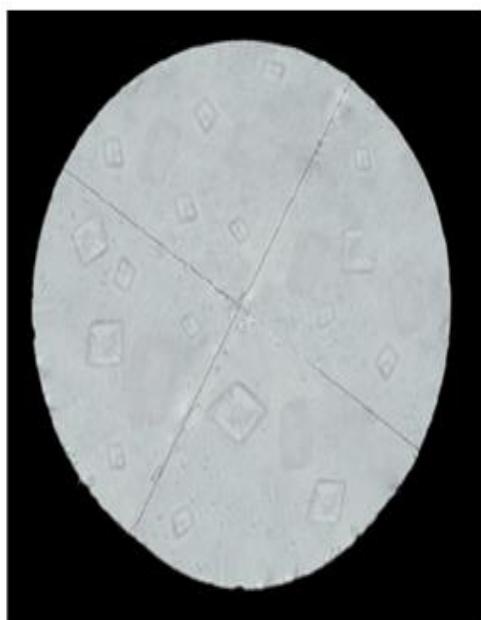
Te+Бр+Гб



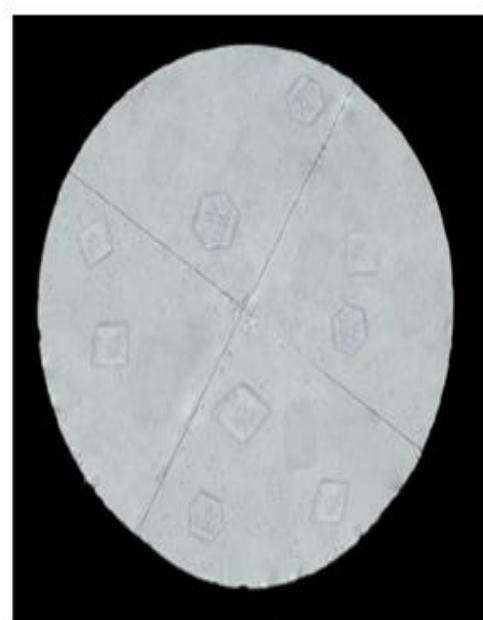
Бр+Пр+Na·1



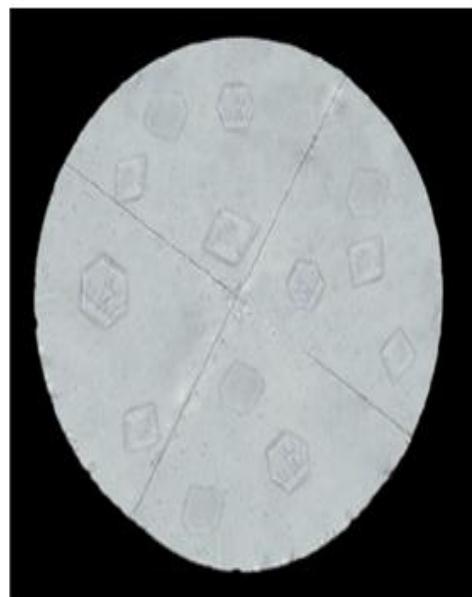
Гп+Cc+5Ca·Na·3



Пр+Cc+5Ca·Na·3



Бр+Пр+5Ca·Na·3



Гб+Бр+5Ca·Na·3

Расми 24. Микроаксҳои фазаҳои саҳти мувозинатӣ дар системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$, барои ҳарорати 75°C

Фазаҳои саҳтро аз маҳлул бо ёрии насоси вакуумӣ дар қифи Бюхнер ҷудо кардем. Таҳшинро пас аз филтронидан бо маҳлули 96 % спирти этил шуста, дар ҳарорати 120°C хушк намудем. Барои таҳлили химиявӣ аз усулҳои маълум истифода намудем.

Дар ҷадвали 18 маълумотҳо оиди ҳалшавандагӣ дар системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ҷамъ оварда шудаанд (ҳарорати 75°C).

Чадвали 18. Ҳалшавандагии системаи Na^+ , Ca^{2+} || SO_4^{2-} , CO_3^{2-} - H_2O
дар ҳарорати 75 °C

№ нуқт а	Таркиби фазаи моёъ, мас.%					Фазаи саҳти мувозинатӣ
	Na_2SO_4	CaSO_4	Na_2CO_3	CaCO_3	H_2O	
e_1	30,35	—	—	—	69,65	Te
e_2	—	—	31,2	—	68,8	$\text{Na}\cdot 1$
e_3	—	0,481	—	—	99,509	$\Gamma\pi$
e_4	—	—	—	0,0056	99,994	Cc
E_1^3	25,0	—	6,40	—	68,6	Te+Br
E_2^3	3,80	—	28,9	—	67,3	Br+Na·1
E_3^3	4,60	0,522	—	—	94,878	Te+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	$\text{Na}\cdot 1+\text{Пр}$
E_7^3	—	—	24,8	0,0078	75,1922	Пр+Cc
E_8^3	—	0,692	—	0,0063	81,7837	Гп+Cc
E_1^4	24,38	0,911	20,29	—	54,419	Te+Гб+ Br
E_2^4	28,42	—	30,14	0,0058	41,4342	$\text{Na}\cdot 1+\text{Br}+\text{Пр}$
E_3^4	15,19	0,824	—	0,0067	83,9793	5Ca·Na·3+Гп+Cc
E_4^4	16,98	0,783	21,18	—	61,057	Гб+Br+5Ca·Na·3
E_5^4	—	0,544	33,72	0,0091	65,72	5Ca·Na·3+Cc+Пр
E_6^4	—	0,646	21,16	0,0053	78,1887	Br+Пр+5Ca·Na·3

Мавқеи нуқтаҳои нонвариантӣ дар диаграмма дар асоси далелҳои чадвали ҳалшавандагӣ бо усули массентрӣ [5] таввасути ҳисобҳои зерин муайян карда шудааст:

Системаи Na_2SO_4 - $\text{CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$

e_1 - Нуқтаи фазаи сахти мувозинатӣ барои Тe

$$\underline{\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}} \quad l \text{ Na}_2\text{SO}_4 = \frac{30,35 \times 100}{30,35 + (69,65 \div 5)} = \frac{3035}{44,28} = 68,5 \text{мм.}$$

$$35,35\% + 69,65\% = 100\%$$

Системаи Na_2SO_4 - $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$

e_2 - Нуқтаи фазаи сахти мувозинатӣ барои $\text{Na}\cdot 1$

$$\underline{\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}} \quad l \text{ Na}_2\text{CO}_3 = \frac{31,2 \times 100}{31,2 + 13,76} = \frac{3120}{44,96} = 69,39 \text{мм}$$

$$31,2\% + 68,8\% = 100\%$$

Системаи Na_2CO_3 - CaCO_3 - H_2O

e_3 - Нуқтаи фазаи сахти мувозинатӣ барои Гп

$$\underline{\text{CaSO}_4\text{+H}_2\text{O}} \quad l \text{ CaSO}_4 = \frac{0,481 \times 100}{0,481 + 19,9} = \frac{48,1}{20,3828} = 2,405 \text{мм}$$

$$0,481\% + 99,509\% = 100\%$$

Системаи CaCO_3 - CaCO_3 - H_2O

e_4 - Нуқтаи фазаи сахти мувозинатӣ барои Сc

$$\underline{\text{CaCO}_3\text{-H}_2\text{O}} \quad l \text{ CaCO}_3 = \frac{0,0056 \times 100}{0,0056 + 19,998} = \frac{0,56}{20} = 0,028 \text{мм}$$

$$0,0056\% + 99,994\% = 100\%$$

$\underline{\text{Na}_2\text{SO}_4\text{- Na}_2\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}}$

E_1^3 - Нуқтаи фазаҳои сахти мувозинатӣ барои Te+ Br

$$\left. \begin{array}{l} \text{Na}_2\text{SO}_4 = 25\% \\ \text{Na}_2\text{CO}_3 = 6,4\% \\ H_2\text{O} = 68,6 \div 5 = 13,72\% \end{array} \right\} 31,4\% \quad \left. \begin{array}{l} l \text{ Na}_2\text{SO}_4 = \frac{25 \times 100}{31,4} = 79,6 \text{мм} \\ l \text{ H}_2\text{O} = \frac{13,72 \times 119}{45,12} = 36,185 \text{мм} \end{array} \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Na}_2\text{SO}_4 = 3,8\% \\ \text{Na}_2\text{CO}_3 = 28,9\% \end{array} \right\} 32,7\% \quad l \text{ Na}_2\text{SO}_4 = \frac{28,9 \times 100}{32,7} = 88,37 \text{мм}$$

E_2^3 - Нуқтаи фазаҳои сахти мувозинатӣ барои $\text{Na}\cdot 1 + \text{Br}$

$$H_2O = 67,3 \div 5 = 13,46\%$$

$$\zeta H_2O = \frac{13,46 \times 182}{46,14} = 53,093 \text{мм}$$

Na₂SO₄- CaSO₄-H₂O

E_3^3 - Нуқтаи фазаҳои сахти мувозинатӣ барои Te+Гб

$$\begin{aligned} & \left. \begin{array}{l} Na_2SO_4 = 4,6\% \\ CaSO_4 = 0,522\% \end{array} \right\} 5,125\% \\ & H_2O = 94,878 \div 5 = 18,9756\% \quad \left. \begin{array}{c} \\ \end{array} \right\} 24,1\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \zeta Na_2SO_4 &= \frac{4,6 \times 100}{5,125} = 89,75 \text{мм} \\ \zeta H_2O &= \frac{18,9756 \times 97}{24,1} = 76,3 \text{мм} \end{aligned}$$

E_4^3 - Нуқтаи фазаҳои сахти мувозинатӣ барои Гб+5Ca·Na·3

$$\begin{aligned} & \left. \begin{array}{l} Na_2SO_4 = 5,84\% \\ CaSO_4 = 0,888\% \end{array} \right\} 6,728\% \\ & H_2O = 93,272 \div 5 = 18,6544\% \quad \left. \begin{array}{c} \\ \end{array} \right\} 25,3824\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \zeta Na_2SO_4 &= \frac{5,84 \times 100}{6,728} = 86,8 \text{мм} \\ \zeta H_2O &= \frac{18,6 \times 93}{25,3824} = 68,1 \text{мм} \end{aligned}$$

E_5^3 - Нуқтаи фазаҳои сахти мувозинатӣ барои 5Ca·Na·3+Гп

$$\begin{aligned} & \left. \begin{array}{l} Na_2SO_4 = 4,34\% \\ CaSO_4 = 0,884\% \end{array} \right\} 5,224\% \\ & H_2O = 95,376 \div 5 = 19,07\% \quad \left. \begin{array}{c} \\ \end{array} \right\} 24,294\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \zeta Na_2SO_4 &= \frac{4,34 \times 100}{5,224} = 83,07 \text{мм} \\ \zeta H_2O &= \frac{19,07 \times 91}{24,294} = 71,4 \text{мм} \end{aligned}$$

E_6^3 - Нуқтаи фазаҳои сахти мувозинатӣ барои Na·1+Пр

$$\begin{aligned} & \left. \begin{array}{l} Na_2CO_3 = 21,75\% \\ CaCO_3 = 0,0065\% \end{array} \right\} 21,7565\% \\ & H_2O = 78,2435 \div 5 = 15,6486\% \quad \left. \begin{array}{c} \\ \end{array} \right\} 37,4052\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \zeta Na_2CO_3 &= \frac{21,75 \times 100}{21,7565} = 99,97 \text{мм} \\ \zeta H_2O &= \frac{15,6475 \times 192}{37,4052} = 80 \text{мм} \end{aligned}$$

E_7^3 - Нуқтаи фазаҳои сахти мувозинатӣ барои Пр+Cc

$$\begin{aligned} & \left. \begin{array}{l} Na_2CO_3 = 24,8\% \\ CaCO_3 = 0,0078\% \end{array} \right\} 24,8075\% \\ & H_2O = 75,1925 \div 5 = 15,0385\% \quad \left. \begin{array}{c} \\ \end{array} \right\} 39,846\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \zeta Na_2CO_3 &= \frac{24,8 \times 100}{24,8075} = 99,969 \text{мм} \\ \zeta H_2O &= \frac{15 \times 191}{39,846} = 71,9 \text{мм} \end{aligned}$$

E_8^3 - Нуқтаи фазаҳои сахти мувозинатӣ барои Cc+Гп

$$\left. \begin{array}{l} \text{CaSO}_4 = 0,692\% \\ \text{CaCO}_3 = 0,0063\% \\ H_2O = 99,3 \div 5 = 19,8603\% \end{array} \right\} 20,5586\%$$

$$\begin{aligned} \iota \text{ CaSO}_4 &= \frac{0,692 \times 100}{0,6983} = 99 \text{мм} \\ \iota \text{ H}_2\text{O} &= \frac{19,8603 \times 190}{20,5586} = 183,5 \text{мм} \end{aligned}$$

Na₂SO₄-CaSO₄-Na₂CO₃-H₂O

E_1^4 - Нүқтаи фазаҳои сахти мувозинатӣ барои Te+Гб+Бр

$$\left. \begin{array}{l} \text{Na}_2\text{SO}_4 = 24,38\% \\ \text{CaSO}_4 = 0,911\% \\ \text{Na}_2\text{CO}_3 = 20,29\% \\ H_2O = 54,419 \div 5 = 10,88\% \end{array} \right\} 45,581\%$$

$$\begin{aligned} \iota \text{ Na}_2\text{SO}_4 &= \frac{24,38 \times 100}{25,291} = 96,39 \text{мм} \\ \iota \text{ Na}_2\text{CO}_3 &= \frac{20,29 \times 101}{45,581} = 44,9 \text{мм} \\ \iota \text{ H}_2\text{O} &= \frac{10,88 \times 133}{45,581} = 31,74 \text{мм} \end{aligned}$$

Na₂SO₄- Na₂CO₃- CaCO₃-H₂O

E_2^4 - Нүқтаи фазаҳои сахти мувозинатӣ барои Na·1+Бр+Пр

$$\begin{aligned} \text{Na}_2\text{SO}_4 &= 28,42\% \\ \text{Na}_2\text{CO}_3 &= 30,14\% \\ &= \frac{28,42 \times 100}{58,56} = 48,53 \text{мм} \\ \text{CaCO}_3 &= 0,0058\% \\ &= \frac{0,0058 \times 102}{58,5658} = 0,01 \text{мм} \end{aligned}$$

$$\left. \begin{array}{l} 58,5658\% \\ 58,5658\% \\ 66,85264\% \end{array} \right\} \begin{array}{l} \iota \text{ Na}_2\text{SO}_4 \\ \iota \text{ CaCO}_3 \end{array}$$

$$H_2O = 41,4342 \div 5 = 8,28684\%$$

$$\iota \text{ H}_2\text{O} = \frac{8,28684 \times 102}{66,85264} = 12,3 \text{мм}$$

E_3^4 - Нүқтаи фазаҳои сахти мувозинатӣ барои 5Ca·Na·3+Гп+Cc

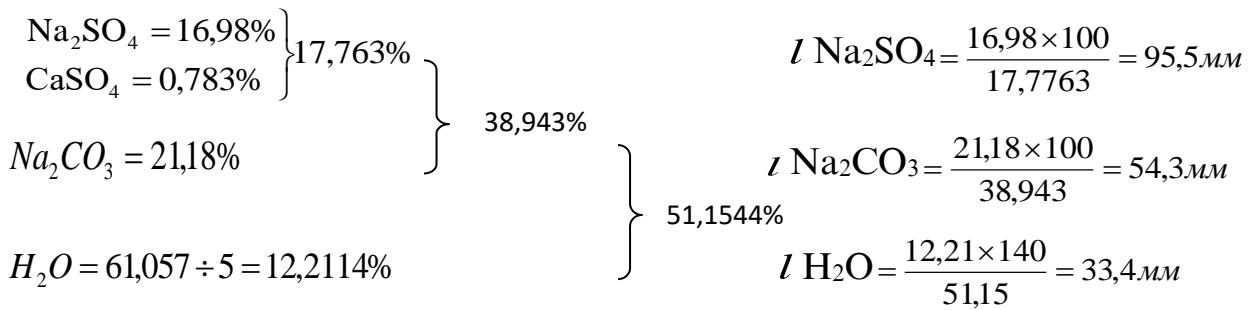
$$\left. \begin{array}{l} \text{Na}_2\text{SO}_4 = 15,19\% \\ \text{CaSO}_4 = 0,824\% \\ \text{CaCO}_3 = 0,0067\% \end{array} \right\} 16,0207\%$$

$$\begin{aligned} \iota \text{ Na}_2\text{SO}_4 &= \frac{15,19 \times 100}{16,014} = 94,85 \text{мм} \\ \iota \text{ CaCO}_3 &= \frac{0,0067 \times 101}{16,0207} = 0,004 \text{мм} \end{aligned}$$

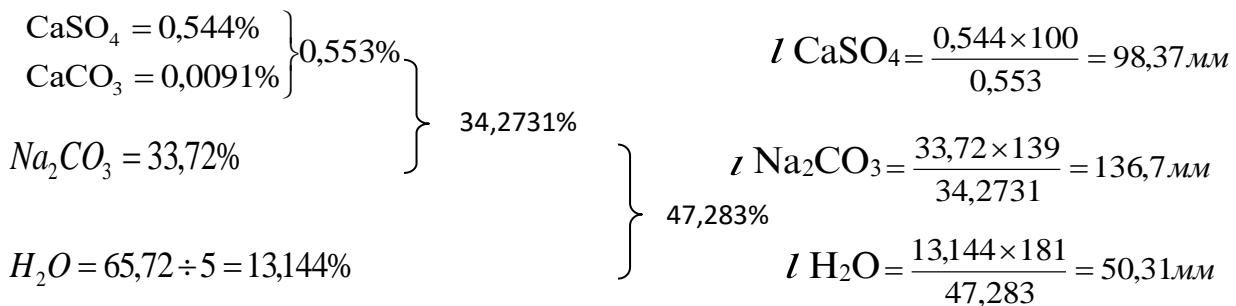
$$H_2O = 83,9793 \div 5 = 16,79586\%$$

$$\text{I H}_2O = \frac{16,79 \times 114}{32,81656} = 58,3 \text{мм}$$

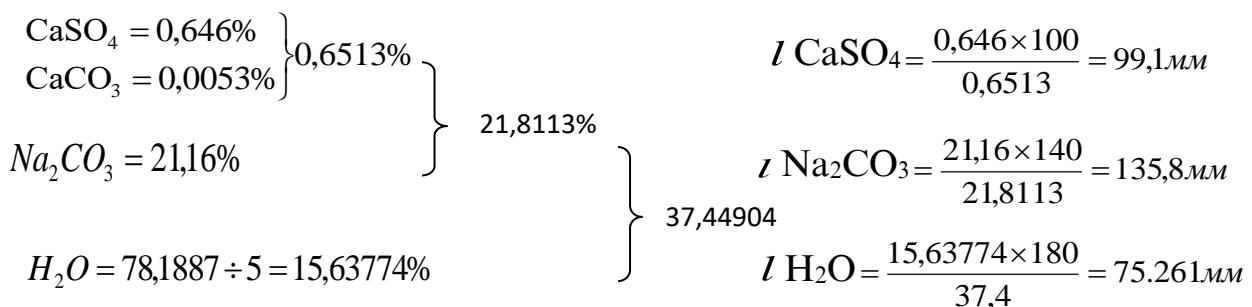
E_4^4 - Нуқтаи фазаҳои сахти мувозинатӣ барои Гб+Бр+5Ca·Na·3



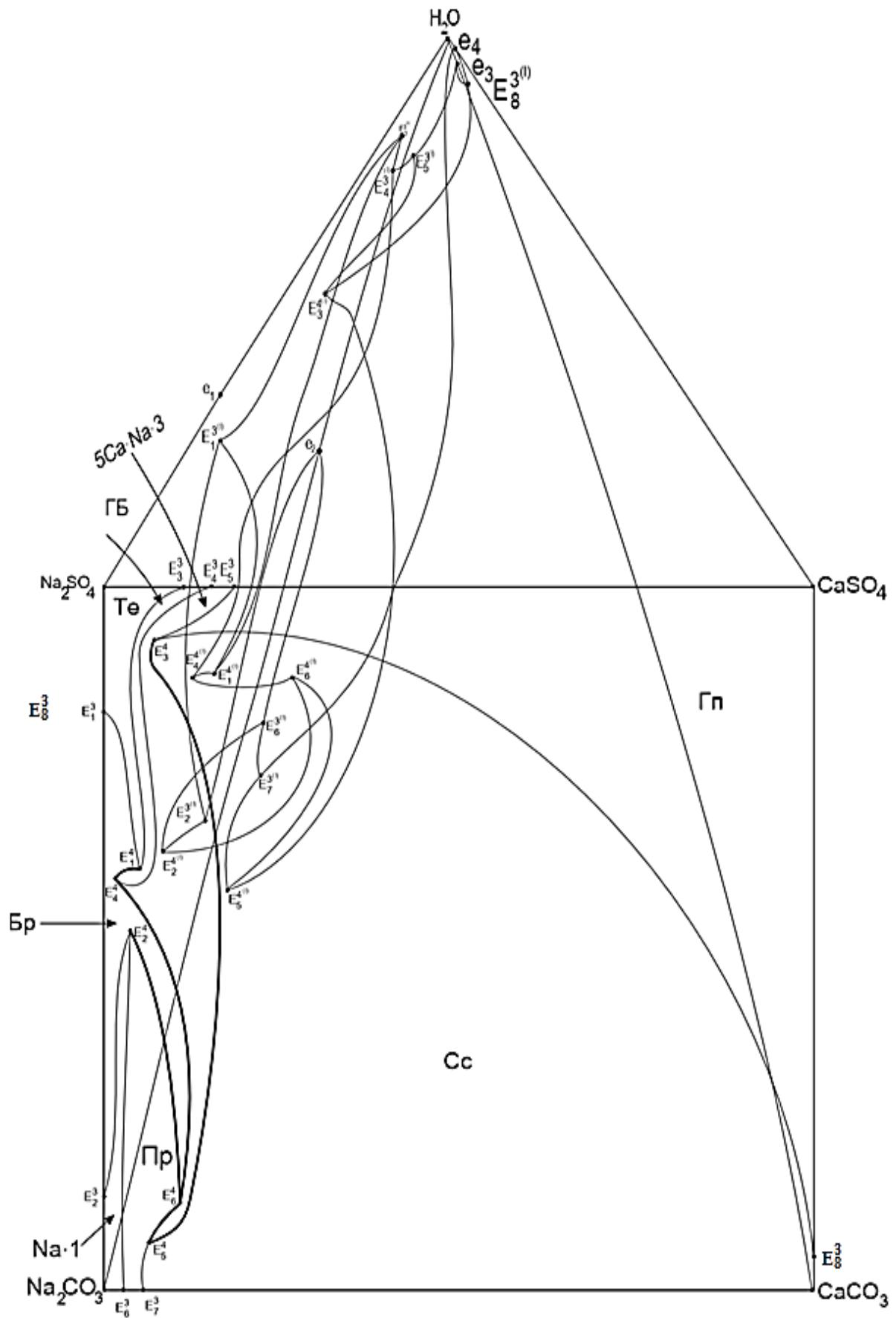
E_5^4 - Нуқтаи фазаҳои сахти мувозинатӣ барои 5Ca·Na·3+Cc+Пр



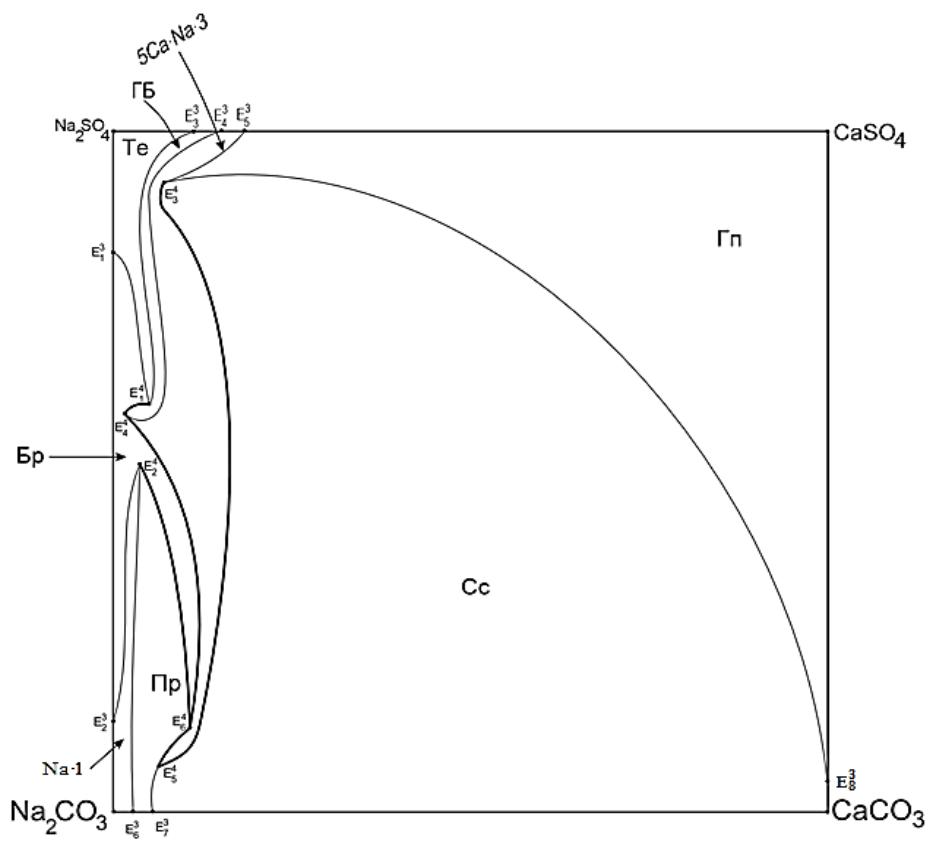
E_6^4 - Нуқтаи фазаҳои сахти мувозинатӣ барои Бр+Пр+5Ca·Na·3



Дар асоси далелҳои ба дастовардашуда маротибаи аввал диаграммаи ҳалшавандагии системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-}, \text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 75°C сохта шуд, ки он дар расми 25 (а) қисми оби-намакӣ, б) қисми намакӣ) оварда шудаанд.



a)



б)

Расми 25. Диаграммаи ҳалшавандагии системаи химиявии

$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ барои ҳарорати 75°C :

а) шакли обӣ-намакӣ; б) шакли намакӣ

Номгӯи элементҳои геометрии (нуқтаҳо, хатҳо, майдонҳо) дар расми 25 ҷойдошта, дар ҷадвали 19 оварда шудааст.

Ҷадвали 19. Номгӯи элементҳои геометрии диаграммаи системаи химиявии $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар 75°C

Ишораи элементҳои геометри	Мазмуни элементҳои геометри дар диаграмма
e_1	Ҳалшавандагии сулфати натрий дар об
e_2	Ҳалшавандагии карбонати натрий дар об
e_3	Ҳалшавандагии карбонати калсий дар об

e ₄	Халшавандагии сулфати калсий дар об
E ₁ ³	Нүктаи якчоя кристаллизатсияшавии Te + Бр дар системаи Na ⁺ -SO ₄ ²⁻ -CO ₃ ²⁻ -H ₂ O
E ₂ ³	Нүктаи якчоя кристаллизатсияшавии Бр + Na·1 дар системаи Na ⁺ -SO ₄ ²⁻ -CO ₃ ²⁻ -H ₂ O
E ₃ ³	Нүктаи якчоя кристаллизатсияшавии Te+Гб дар системаи Na ⁺ -Ca ²⁺ -SO ₄ ²⁻ -H ₂ O
E ₄ ³	Нүктаи якчоя кристаллизатсияшавии Гб + 5Ca·Na·3 дар системаи Na ⁺ -Ca ²⁺ -SO ₄ ²⁻ -H ₂ O
E ₅ ³	Нүктаи якчоя кристаллизатсияшавии 5Ca·Na·3 + Гп дар системаи Na ⁺ -Ca ²⁺ -SO ₄ ²⁻ -H ₂ O
E ₆ ³	Нүктаи якчоя кристаллизатсияшавии Na·1 + Пр дар системаи Na ⁺ -Ca ²⁺ -CO ₃ ²⁻ -H ₂ O
E ₇ ³	Нүктаи якчоя кристаллизатсияшавии Пр + Сс дар системаи Na ⁺ -Ca ²⁺ -CO ₃ ²⁻ -H ₂ O
E ₈ ³	Нүктаи якчоя кристаллизатсияшавии Гп+Сс дар системаи Ca ²⁺ -SO ₄ ²⁻ -CO ₃ ²⁻ -H ₂ O
E ₁ ⁴	Нүктаи якчоя кристаллизатсияшавии Te + Бр + Гб дар системаи Na ⁺ ,Ca ²⁺ SO ₄ ²⁻ ,CO ₃ ²⁻ -H ₂ O
E ₂ ⁴	Нүктаи якчоя кристаллизатсияшавии Бр + Na·1 + Пр дар системаи Na ⁺ ,Ca ²⁺ SO ₄ ²⁻ ,CO ₃ ²⁻ -H ₂ O
E ₃ ⁴	Нүктаи якчоя кристаллизатсияшавии Гп + Сс + 5Ca·Na·3 дар системаи Na ⁺ ,Ca ²⁺ SO ₄ ²⁻ ,CO ₃ ²⁻ -H ₂ O
E ₄ ⁴	Нүктаи якчоя кристаллизатсияшавии Гб + Бр + 5Ca·Na·3 дар системаи Na ⁺ ,Ca ²⁺ SO ₄ ²⁻ ,CO ₃ ²⁻ -H ₂ O

E_5^4	Нүқтаи якчоя кристаллизатсияшави Пр + Сс + 5Ca·Na·3 дар системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
E_6^4	Нүқтаи якчоя кристаллизатсияшави Пр + Бр + 5Ca·Na·3 дар системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
$E_1^3 - E_1^4$	Хатти качи кристаллизатсионии Те + Бр дар системаи $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
$E_3^3 - E_1^4$	Хатти качи кристаллизатсионии Те+Гб дар системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
$E_2^3 - E_2^4$	Хатти качи кристаллизатсионии Бр + Na·1 дар системаи $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
$E_4^3 - E_4^4$	Хатти качи кристаллизатсионии Гб + 5Ca·Na·3 дар системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
$E_5^3 - E_3^4$	Хатти качи кристаллизатсионии Гп + 5Ca·Na·3 дар системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
$E_6^3 - E_2^4$	Хатти качи кристаллизатсионии Пр + Na·1 дар системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
$E_7^3 - E_5^4$	Хатти качи кристаллизатсионии Пр+Сс дар системаи $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
$E_8^3 - E_3^4$	Хатти качи кристаллизатсионии Гп + Сс дар системаи $\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
$E_1^4 - E_4^4$	Хатти качи кристаллизатсионии Гб + Бр дар системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
$E_2^4 - E_6^4$	Хатти качи кристаллизатсионии Бр + Пр дар системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
$E_3^4 - E_5^4$	Хатти качи кристаллизатсионии Сс + 5Ca·Na·3 дар системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
$E_4^4 - E_6^4$	Хатти качи кристаллизатсионии Бр + 5Ca·Na·3 дар системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$

$E_5^4 - E_6^4$	Хатти каци кристаллизационни Пр + 5Ca·Na·3 дар системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \ \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$
$E_1^3 \text{Na}_2\text{SO}_4 E_3^3 E_1^4 E_1^3$	Майдони кристаллизацияи Те
$E_2^3 \text{Na}_2\text{CO}_3 E_6^3 E_2^4 E_2^3$	Майдони кристаллизацияи Na·1
$E_1^3 E_1^4 E_4^4 E_6^4 E_2^4 E_2^3 E_1^3$	Майдони кристалл изатсияи Бр
$E_3^3 E_1^4 E_4^4 E_4^3 E_3^3$	Майдони кристаллизацияи Гб
$E_4^3 E_4^4 E_6^4 E_5^4 E_3^4 E_5^3 E_4^3$	Майдони кристаллизацияи 5Ca·Na·3
$E_5^3 \text{CaSO}_4 E_8^3 E_3^4 E_5^3$	Майдони кристаллизацияи Гп
$E_8^3 \text{CaCO}_3 E_7^3 E_5^4 E_3^4 E_8^3$	Майдони кристаллизацияи Сс
$E_7^3 E_5^4 E_6^4 E_2^4 E_6^3 E_7^3$	Майдони кристаллизацияи Пр

БОБИ IV. ПОЛИТЕРМАИ ҲАЛШАВАНДАГИИ СИСТЕМАИ ХИМИЯВИИ МУОВИЗАИ Na^+ , Ca^{2+} || SO_4^{2-} , CO_3^{2-} - H_2O ВА ЗЕРСИСТЕМАҲОИ ОНРО ТАШКИЛДИХАНДА

4.1. Тасвири таранслятсияи изотермаҳо ва политермаи ҳалшавандагии системаи химиявӣ

Дар корҳои қаблии мо усули транслятсия дар тағйирёбии шаклҳои геометрии диаграммаҳои ҳолатӣ аз ҳудуди таркиби n - компонента ба сатҳи $n+1$ компонента истифода мешуд, ки он дар натиҷаи иловани моддаи навбатӣ (компонент) ба амал меомад. Транслятсия, инчунин вобаста ба иловашавии дилҳоҳ параметрии ҳолатӣ ба амал омада метавонад, ки аз ҷумлаи онҳо ҳарорат, фишор, концентратсия, потенсиали химиявӣ ва гайраҳо буда метавонанд. Дар ин маврид диаграммаи ҳолатӣ қимати дараҷаи озоди система қобилият пайдо мекунад, тағйирёбанда бошад. Ҳангоми транслятсия ба самти компоненти минбаъда элементҳои геометрии системаҳои n -компонента барои соҳтани диаграммаи ҳолатии системаҳои компонентнокиашон $n+1$ муҳим ба шумор мераванд, мисол, изотермаҳо, политермаҳои системаҳои химиявиро ташкил медиҳанд. Барои бо усули транслятсия соҳтани политермае, ки дорои n - компонент аст, ба сифати маводҳои аввала изотермаҳои ҳамин система истифода мешавад. Диаграммаҳои ҳалшавандагиро қабул шудааст, ки бештар ба шакли буришҳои изотермикӣ (изотермаҳои ҳалшавандагӣ) сохта шаванд ва он барои гузаронидани эксперимент (таҷриба) қулай мебошад. Ҳангоми муайян намудани ҳалшавандагӣ таҷриба осонтар аст, ки дар ҳарорати доимӣ гузаронда шавад. Диаграммаҳои обӣ-намакӣ ва гудохташавӣ дар шакли политерма бо истифода аз ҳатҳои гармкунанда ва хунуккунанда (эбулоскопӣ ва креоскопӣ) дар термограммаҳо соҳтан говоротар аст. Дар рисолаи мазкур 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 шуданд, сипас дар самти ҳарорат (параметри нав) аз рӯи изотермаи системаи $n+1$ компонента, полимермаи он сохта мешуд. Бо истифода аз полимермаи системаи $n+1$ компонента, бо “тарнслятсияи баргарданда” полимермаҳои ҳалшавандагии системаҳои ду ва секомпонентаро муайян менамуданд (транслятсия ба самти адади компонентнокӣ 3 ва 2). Бартарии ин усул дар он аст, ки он якбора бе истифода аз политремаи системаҳои мувақатии ду ва секомпонента полимермаи системаи чоркомпонента сохтанро имкон медиҳад. Таҳқиқунандагон, ҳангоми истифодаи усули зерин бе сохтани миқдори зиёди полимермаҳои ҳалшавандагии системаҳои n -компонента метавонанд полимермаи системаи бисёркомпонентаи лозимаро омӯзанд.

Маънои аслӣ барои пешниҳоди таркиби полимермаи ҳалшавандагии системаҳои химиявии компонентнокиашон зиёд, усули тасвири диаграммаи ҳалшавандагӣ мебошад. Усулҳои анъанавии тасвир дар шакли фигураҳои фазои сечанака барои системаҳои компонентнокиашон аз чор зиёд истифоданашаванда мебошанд. Тасаввуротҳои диаграммаи ҳалшавандагии системаи бисёркомпонента дар шакли комплексӣ ё фигураи бисёрченака фарқ меқунад. Дар фазои сеченака диаграммаи ҳалшавандагии системаи панҷкомпонентаро бо усули массентрӣ сохтан мумкин аст. Ин усул барои сохтани диаграммаҳои дилҳоҳ компонентнокидошта истифодашаванда аст. Нуқтаҳои нонвариантӣ дар ҳамвории таркиб бо усули массентрӣ ҳамчун $K=2$ нуқтаҳои геометрӣ бо ёрии системаи барисентрикии координатҳо нишон дода мешавад. Ҷойгиршавии нуқтаҳои фигуративӣ дар диаграмма ҷиддӣ қайд қарда шудааст ва диаграммаи сохташуда миқдоран ҳамаи ҷузъиёти сохтори системаро нишон медиҳад. Диаграммаҳои ҳалшавандагии бо усули массентрӣ сохташуда барои ҳисобҳои

графоаналитикӣ, ба мисли диаграммаҳои ҳалшавандагие, ки бо усули тривиалий бо истифода аз системаи барисентрикии координатҳо тасвир ёфтаанд, короям аст.

Таҷрибаи таҳқиқи системаҳои бисёркомпонента нишон медиҳад, ки онҳо бо фаровонии образҳо, ки дар диаграммаҳо акс ёфтаанд фарқ кунанд. Нишон додани ҳамаи элементҳои диаграммаҳои ҳолатӣ дар як ҳамворӣ соҳтори дигараммаро мураккаб ва нокулай мебошад. Тасвири диаграммаҳои ҳолатии системаҳои бисёркомпонентаро бо нишондиҳи ҳамчун фрагментҳо соддатар кардан мумкин аст. Метавонем фрагментҳое, ки бо сарҳадҳои крисстализатсияи як ё якчанд фазаҳои саҳт маҳдуд шудааст созем [99, 100]. Диаграммаи ҳолатиро инчунин метавонем ба фрагментҳо тақсим кунем, ки ба як ё якчанд сатҳи компонентнокии система ҷавобгӯ бошанд. Масалан, дар ҳамворӣ соҳти системаро дар ҳудуди се, чор, панҷ ва зиёда аз он тасаввур кардан мумкин аст.

Дар бобҳои аввала мо комплекси фазагӣ ва ҳалшавандагии системаи чоркомпоненти мувозиа, ки аз сулфатҳо, карбонатҳои натрийю калтсий таркиб ёфтааст барои изотермаҳои 0-100 °C омӯхтем ва ҳамзамон диаграммаи комплекси фазавӣ ва ҳалшавандагиашонро соҳтем. Боби мазкур бошад, таҳқиқи политетрмаи системаи номбурдаро дар бар гирифта, дар он самтҳои гуногуни системаи мазкур омӯхта шуда, диаграммаи политетмиашон соҳта шудааст.

4.2. Политетрмаи системаи секомпонентай $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$

Дар зербахши мазкур маълумотҳои оварда шудаанд, ки дар рафти таҳқиқи политетрмаи системаи секомпонентай $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ ба даст оварда шудаанд [101, 102]. Маълум аст, ки карбонати натрий ҳангоми таъсири мутақобила бо бисёре аз сулфатҳои металлҳои ишқорӣ ва ишқорзаминиӣ намакҳои дучанда ва омехтаҳои гидратнокшудаи наъи гуногунро ҳосил мекунад.

Ба сифати маҳсулотҳои аввала намакҳои ду маротиба перекристаллизацияшудаи тамғаи “аз ҷиҳати химиявӣ тоза” гирифта шуданд. Таҳқиқотҳо бо усули массентрӣ [5] то пайдошавии кристаллҳои аввалин гузаронида шудааст. Фазаҳои сахт асосан бо ёрии микроскопи тамғаи «ПОЛАМ-Р 311» назорат карда шуда, пас аз мувозинат бо навъи «Sony Alpha ILCE-7M3 body» аксбардорӣ шуданд. Гистерезиси байни пайдошавии аввалин кристаллҳо ва нестшавии охирин дар фосилаи 0,1-0,2°C муайян карда шудааст.

Баъзе ҳолатҳо ҳангоми таҷриба ҳарорати миёна дар пайдошавӣ ва нестшавии кристаллҳои охирин қайд карда шуд. Назорат дар зарфҳои шишагин бо омехтакунаки магнитӣ ва ҳароратсанчи контактӣ бо дақиқии 0,1 °C гузаронида шудааст. Бо мақсади пешакӣ огоҳкунии серобшавии намакҳо, ҳангоми кор порчаҳо дар бюксҳо гирифта шуданд. Таркиби маҳлулҳо бо фоизҳои массавӣ ифода ёфтаанд ва ҳалшавандагии онҳо дар ҷадвали 20 ҷамъ оварда шудаанд.

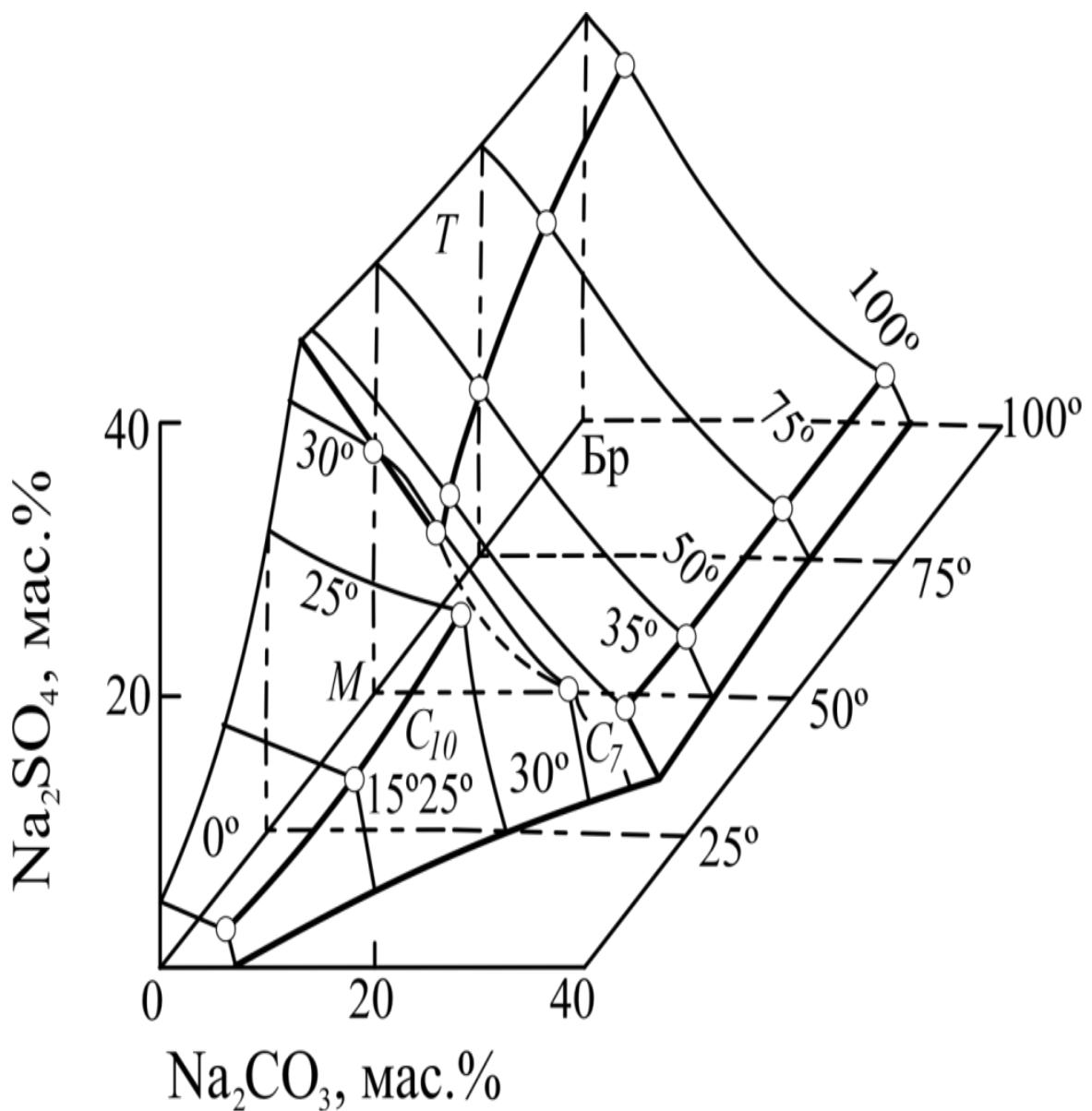
Ҷадвали 20. Политермаи ҳалшавандагии системаи $\text{Na}^+–\text{SO}_4^{2-}–\text{CO}_3^{2-}–\text{H}_2\text{O}$

Таркиби фазаи моеъ, %			Фазаҳои сахти дар мувозинат буда
Na_2SO_4	Na_2CO_3	H_2O	
Изотермаи 0 °C			
4,3	0,0	95,7	Мб
3,0	5,0	92,0	//
2,8	6,0	91,2	Мб+C·10
0,0	6,5	93,5	C·10
Изотермаи 25 °C			
21,8	0,0	78,2	Мб
19,6	5,0	75,4	//
17,8	10,0	72,2	//
16,7	15,0	68,3	//
16,4	18,3	65,3	Мб+C·10

8,9	20,0	71,1	C·10
0,0	22,9	77,1	C·10
Изотермаи 50 °C			
31,8	0,0	68,2	Te
27,3	5,0	67,7	//
22,9	10,0	67,1	//
25,5	10,5	64	Te+Br
16,8	15,0	68,2	Br
11,7	20,0	68,3	//
7,5	25,0	32,5	//
4,6	29,4	66	Br+C·1
3,5	30,0	66,5	C·1
0,0	32,1	67,9	//
Изотермаи 75 °C			
30,35	0,0	69,65	Te
26,2	5,0	68,5	//
25,0	6,4	68,6	Te+Br
20,1	10,0	69,9	Br
14,4	15,0	70,6	//
9,8	20,0	70,2	//
6,0	25,0	69	//
3,8	28,9	67,3	Br+C·1
2,1	30,0	67,9	C·1
0,0	31,2	68,8	//
Изотермаи 100 °C			
29,7	0,0	70,3	Te
26,4	3,9	69,7	Te+Br
24,7	5,0	70,3	Br
17,8	10,0	72,2	//
12,5	15,0	72,5	//

8,3	20,0	71,7	//
5,1	25,0	69,9	//
3,3	28,6	68,1	Бр+С·1
1,4	30,0	68,6	С·1
0,0	30,9	69,1	//

Дар асоси маълумотҳои ҳалшавандагии системаи $\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ диаграммаи политермии он дар диапозони ҳароратҳои 0-100 °C сохта дар расми 26 оварда шудааст.



Расми 26. Диаграммаи политермии системаи $\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$

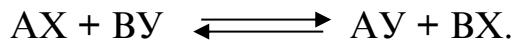
Дар диаграмма самтҳои буришҳо нишон дода шудаанд. Диаграммаи ҳалшавандагӣ аз шаш майдонҳои кристаллизатсия иборат аст, ки онҳо мирабилит, декагидрат карбонати натрий, моногидрат карбонати натрий, гептагидрат карбонати натрий, тенардит, беркеит мебошанд. Чӣ тавре ки аз диаграмма дида мешавад, дар система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

4.3. Нуқтаҳои нонвариантни сатҳи чоркомпонента дар политетрмаи

системаи Na^+ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$, CO_3^{2-} - H_2O

дар фосилаи ҳароратҳои аз 0 то 100 °C

Системаҳои муовиза гуфта онҳоеро меноманд, ки байни қисмҳои таркибии онҳо реаксияи муовиза (мубодила) ё ҷойгири амали мешавад. Онҳо шартан чунин ифода мейбанд: $\text{A}, \text{B}/\text{X}, \text{Y}-\text{H}_2\text{O}$. Яъне система додашуда аз 4 намак (AX , AY , BX , BY) ва об ташкил ёфта байни намакҳо чунин реаксияи муовиза ҷой дорад:



Чи тавре, ки дида мешавад дар натиҷаи боҳамтаъсиркуни намакҳои AX ва BY намакҳои AY ва BX ҳосил мешаванд. Яъне, система аз 5 қисми таркибӣ ташкил ёфтааст (4 намак ва об). Азбаски дар чунин системаҳо реаксияҳои химиявӣ ҷой доранд бинобар ин онҳо ба синфи дуюм, ё синфи физико-химиявӣ тааллук доранд. Адади компонентҳо дар ингуна системаҳо ба адади қисмҳои таркибии онҳо, ки бо миқдори адади реаксияҳои мустақил кам карда шудааст, баробар мебошад. Ҳамин тавр, системаи овардашуда чоркомпонента мебошад, агарчанде вай аз 5 қисми таркибӣ (4 намак+об) ташкил ёфта бошад ҳам. Таркиби чунин системаро аз се намак ва об ташкил додан мумкин ва ин чунин маъно дорад, ки таркиби намакии система дар асоси концентратсияи се намак муайян шуданаш мумкин.

Акнун дида мебароем, ки миқдори максималии фазаҳои дар мувозинат буда, барои чунин системаҳо, чигуна аст. Азбаски байни

компонентҳои системаи овардашуда боҳамтаъсиркунӣ бо ҳосилшавии фазаҳои нав (пайвости нав ё маҳлули саҳт) чой надорад, бинобар ин фазаҳои мувозинатии он 7 – то мебошад: кристаллҳои АХ, АҮ, ВХ, ВҮ, маҳлул, ях, буғ. Система дар ин ҳолат таҳти фишори буғҳои сер буда, ин фишор ҳам аз ҳарорат ва ҳам аз концентратсияи маҳлул вобастагӣ дорад. Дар чунин шароит ҳолати нонвариантии системаро 6 фаза муайян меқунад: ҳамаи параметрҳо (ҳарорат, фишор, таркиби маҳлул) бузургиҳои муайян доранд. Дар диаграммаҳои фазогӣ чунин ҳолати система ҳамчун нуқта тасвир меёбад. Нуқтае, ки ҳолати мувозинатии 6 фазаро (4 намак, маҳлул, буғ) ифода (тасвир) меқунад нуқтаи инверсия ё нуқтаи табдилотӣ ном дорад.

Дар нуқтаи инверсия 6 хатти мувозинати моновариантӣ (5 фаза): хатти мувозинатии буғ – 4 намак; хатти мувозинатии маҳлул – 4 намак ва 4 хатти мувозинатии 3 намак, маҳлул ва буғ. Чунин хатҳо 4 – то мебошанд, чунки аз 4 намак 4 комбинатсияи сетогӣ соҳтан мумкин. Агар фазаи буғӣ (газӣ) набошад ва фишор доимӣ бошад, онгоҳ мувозинат дар системаи АХ-ВҮ-АҮ-ВХ-маҳлул метавонад дар ҳарорати муайян чой дошта, шароити нонвариантӣ бошад ва нуқтаи ба ин мувозинат мувофиқ шароити нуқтаи инверсия ном дорад. Дар ин нуқта 4 хатти моновариантии система, ки 3 намаки саҳт бо маҳлули даҳлдор ҳосил намудаанд, вомехуранд. Аз ин хатҳо дутогиаш дар ҳудуди ҳарорати паст ва дутои дигараш – дар ҳудуди ҳарорати баланд чойгир мебошанд (нисбат ба ҳарорати нуқтаи инверсия). Ҳамзамон дар ду ҷуфтӣ сегонаи намакҳои ба ин хатҳо мувофиқ ба як самт равона буда як хел ҷуфтӣ намакҳо ва дутои дигараш дигар ҷуфтӣ намакҳоро доро мебошанд. Масалан, агар дар поёни нуқтаи инверсия ду маҳлул буда, яке аз онҳо дар мувозинат бо намакҳои АХ, ВҮ, АҮ ва дигараш бо АХ, ВҮ, ВХ дар мувозинат бошанд, онгоҳ аз ин нуқтаи инверсия боло як маҳлул дар мувозинат бо намакҳои АҮ, ВХ, АХ ва дигараш дар мувозинат бо намакҳои АҮ, ВХ, ВҮ мебошад.

Ҳамин тавр барои ҳарду тарафи нуқтаи инверсия (аз рӯи ҳарорат) ҷуфти намакҳоеро нишон додан мумкин, ки барои ҳарду ҷуфти сегонаи намакҳо умумӣ мебошанд ва бо маҳлулҳои даҳлдор дар мувозинат ҳастанд. Ин ҷуфти намакҳоро устувор ё стабилий меноманд. Дар мисоли системаҳои овардашуда чунин ҷуфти намакҳо барои аз нуқтаи инверсия поён - АХ ва ВҮ, барои аз нуқтаи инверсия боло – АҮ ва ВХ мебошанд. Дар нуқтаи инверсия ҳарду ҷуфт як хел устувор ҳастанд, яъне бо тағйирёбии ҳарорат табдилёбии як ҷуфт ба ҷуфти дигар ба амал меояд, ки чунин ҳолат ба номи нуқта мувофиқат мекунад.

Дар ҳолати ҳосилшавии намаки дучанда ҷуфти намакҳои устувори дар ҳарорати паст ё баланд (нисбат ба нуқтаи инверсионӣ) ҷойгиршуда сифатан фарқ мекунанд. Инро дар мисоли системаи аз намакҳои сулфати натрий, хлориди калий ва об ташкилёфта, ки чунин реаксияи ҳосилшавии намаки дучанда ҷой дорад, дида мебароем:



Барои ин реаксия дар ҳарорати 4,4⁰С дар система нуқтаи табдилёбӣ ҷой дорад. Аз нуқтаи табдилёбӣ поён дар мувозинат бо маҳлули сер намаки глауберӣ $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (мирабилит) ва хлориди калий KCl (сильвин) ва аз он боло ҷуфти намакҳои глазерит ($\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$) ва хлориди натрий NaCl (галит) устувор [23-25] мебошанд.

Ҳалшавандагӣ дар системаи чоркомпоненти 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 0-100 ⁰С омӯхта шудааст. Дар фосилаи ҳароратҳои додашуда тенардит дар система ҳамчун қисми таркибии як қатор намакҳои дучандай натрий-калтсийгӣ, омехтаи сулфат-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 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Фазаҳои мувозинатии гипс ва калтсит

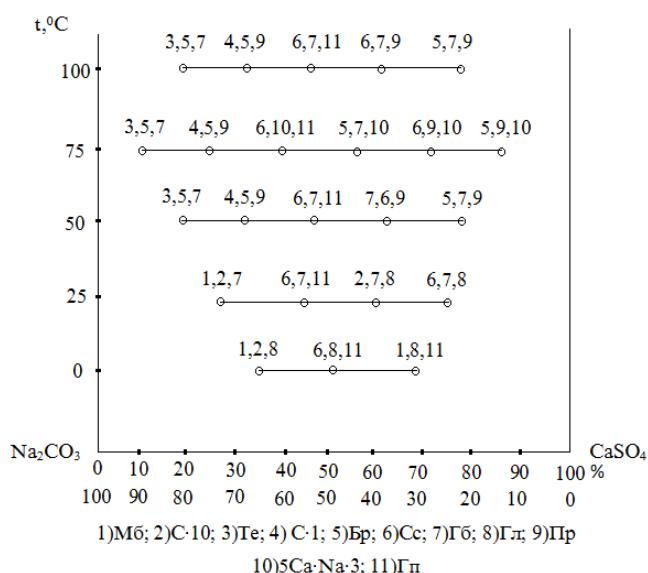
дар ҳамаи фосилаи байни ҳароратҳои 0-100 °C мавҷуд мебошад, ки ҳаҷми кристаллизатсияи он ҳамчун раҳи борик аз ҳамаи политермаи 0-100 °C мегузарад. Боқимонда намакҳои дучанда ва омехта дар майдонҳои ҳароратҳои маҳдудкардашуда ҳосил мешаванд. Ҳамин тавр, масалан майдони кристаллизатсияи кристаллогидратҳои декагидрат карбонати натрий, декагидрат сулфати натрий дар изотермаҳои 0-25 °C вуҷуд дошта метавонад. Бо дар назардоши он, ки ҳарорат аз 25 то 50 °C баланд шуданаш майдони кристаллизатсияи Мб – мирабилит – $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ва С·10 – декагидрати карбонати натрий – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ як қисми оби кристаллизатсиоашонро гум карда ба фазаҳои Тe – тенардит – Na_2SO_4 ва С·1 – моногидрати карбонати натрий – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ мубаддал мегардад. Майдони кристаллизатсияи гейлюссит то ҳарорати 50 °C вуҷуд дошта бо баландшавии он аз 50 °C зиёд бинобар сабаби дегидрататсия намудани се молекула оби кристаллизатсионӣ ба фазаи Пр - пирсонит $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ табдил меёбад ва чунин фаза то 100 °C устувор боқӣ мемонад. Зимни баландшавии ҳарорат аз 0 то 25 °C байни фазаҳои мувозинатии мирабилит ва декагидрат карбонати таъсири муттақобила ба амал омада, дар натиҷа намаки дучандаи Гб - глауберит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$ ҳосил мешавад ва он изотермаҳои 25-100 °C вуҷуд дорад. Дар ҳароати 75 °C майдони кристаллизатсияи сулфати натрий хурд аст, ки он шаҳодати бо баландшавии ҳарорат зиёд шудани ҳалшавандагиро медиҳад. Майдони кристаллизатсияи $5\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot 3$ - $5\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ дар изотермаи 75 °C мавҷуд аст.

Мақсади омузиши политерма ин муайян кардани ҳарорат ва таркиби маҳлул барои нуқтаҳои нонвариантӣ дар фосилаи ҳароратҳои 0-100 °C буда, он барои мукаммал намудани ҳалшавандагӣ дар системаи чоркомпонентаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} \cdot \text{H}_2\text{O}$ дар диапазони ҳароратҳои дар болозикршуда мебошад.

Донистани қонуниятҳои ҳалшавӣ ва кристаллизатсияи намакҳо дар системаи чоркомпонентаи Na^+ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$, CO_3^{2-} - H_2O таркиби системаи панҷкомпонентаро ташкил медиҳад. Он имкон медиҳад, ки қонуниятҳои мазкур инчунин дар системаи мураккабтари Na^+ , $\text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}$, CO_3^{2-} - H_2O омӯхта шавад. Ба ғайр аз ин, маълумотҳо барои асоснок кардани раванди технологии ҳосилкуни намакҳои натрий-калтсийгӣ ҳангоми конверсияи карбонат ва сулфати натрий дар фосилаи васеи ҳарорат мебошанд.

Дар асоси маълумотҳои пурраи ҳалшавандагӣ дар системаи чоркомпонента метавон ҳисобҳои назариявии баромадҳои оптималии ҳамаи намакҳоеро, ки ҳангоми конверсияи карбонат ва сулфати натрий ҳосил мешаванд, муайян кард.

Аз маълумотҳои дар натиҷаи тадқиқот ба даст овардаи мо ва маълумотҳои дар адабиёт оиди ҳалшавандагӣ дар системаи чоркомпонента $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ мавҷудбуда аз ҷониби мо проексияи полимермаи мувозинатҳои фазагии нуқтаҳои нонвариантии сатҳи чоркомпонента дар фосилаи ҳароратҳои 0-100 °C соҳта шуд (расм. 27).



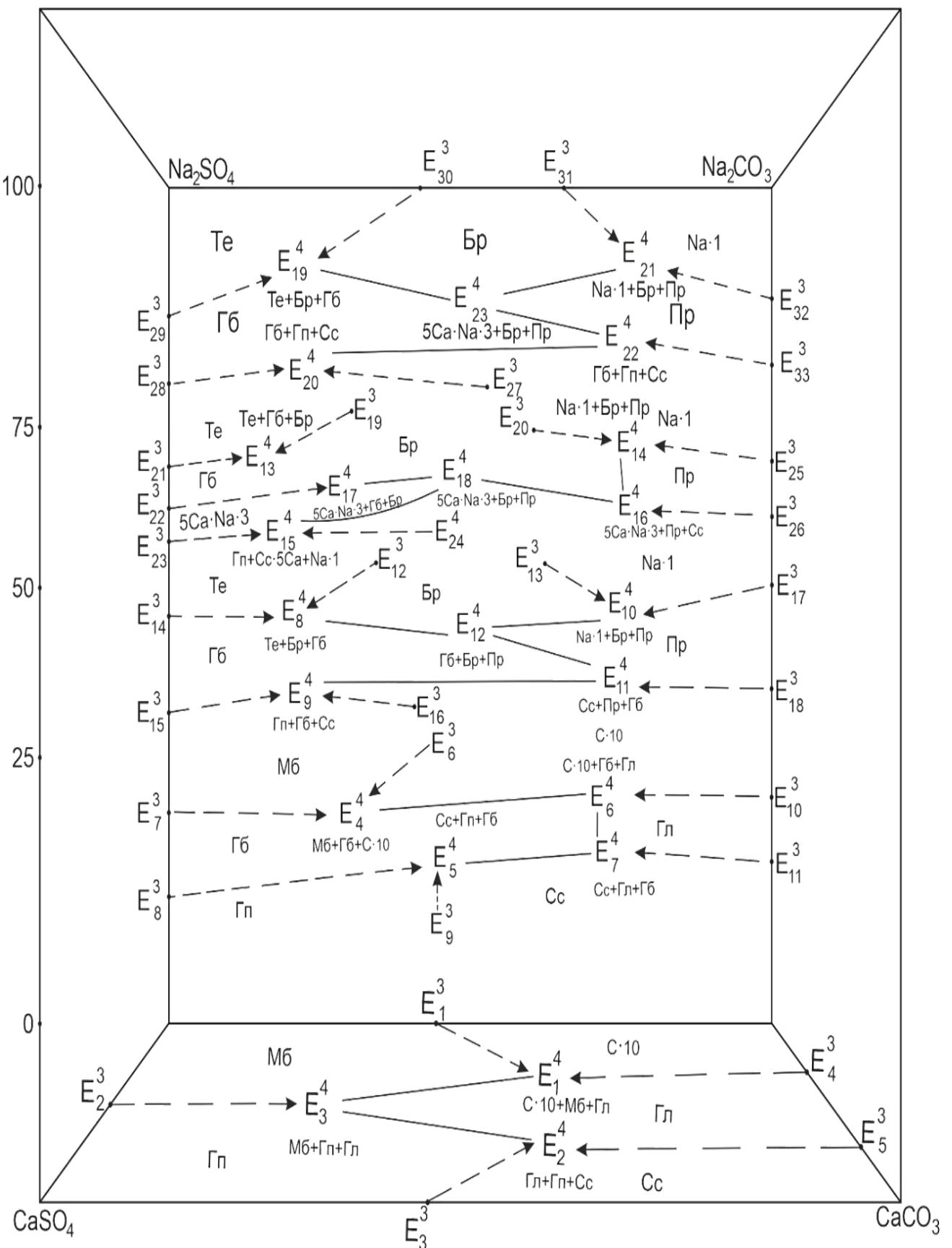
Расми 27. Проексияи полимермаи комплекси фазавии системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар самти призмаи $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$

Хангоми сохтани проексияи политетма муайян шуд, ки дар системаи чоркомпонентаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} \text{-H}_2\text{O}$ дар фосилаи ҳароратҳои 0-100 °C 23 нуқтаи нонвариантии сатҳи чор мавҷуд аст, ки он вобаста ба ҳарорат дар мувозинат будани се фазаро ифода менамояд.

Чӣ тавре ки аз расми 27 мебинем, призма шакли мураккаб дошта, майдони кристаллизатсияи $5\text{Ca}\cdot\text{Na}\cdot3$ ва Бр дар ҳароратҳои баланд дар системаи секомпонентаи $\text{Na}^+-\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ ва $\text{Na}^+-\text{SO}_4^{2-}-\text{CO}_3^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ вучуд дошта метавонад. Ҳаҷми мирабилит ва декагидрати карбонати натрий аз қирраи призма намебарояд, ки ин шаҳодати дар ҳарорати баланд дегидрататсия шудани он аст.

Натиҷаи сохтани проексияи политетмаи системаи $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} \text{-H}_2\text{O}$ имкон дод, ки дар дилҳоҳ 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 нонвариантро муайян намуда, дар ҳароратҳои аниқ таркиби маҳлулро ифода намоем.

Дар расми 28 диаграммаи политетмии системаи $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaSO}_4$ дар диапазони ҳароратҳои 0-100 °C оварда шудааст, дар он элементҳои геометрии сатҳои се-чоркомпонентагӣ ба назар мерава. Дар диаграммаи политетмии комплекси трансформатсияи нуқтаҳо ба ҳатҳо, ҳатҳо ба майдонҳо, майдонҳо ба ҳаҷмҳо ва ҳаҷмҳо ба суперҳаҷмҳо ба назар мерасанд, ки ин алоқамандии соҳт ва таркибро бо ҳосиятҳои моддаҳои химиявӣ ифода менамояд ва ҳамаи онҳо фарогири қонуниятиҳои фазаҳои Гиббс ва принсипҳои асосии асосҳои таҳлили физико-химиявӣ мебошад.



Расми 28. Политермай комплекси фазагии системай

$\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+} \parallel \text{SO}_4^{2-}, \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$

Ҳангоми муайян кардани таркиби моеъ дар нуқтаҳои нонвариантии дар диаграмма ишорашуда, мо маҳлулеро асос гирифтем, ки ба сершавии фазаҳои саҳт ҷавобгӯй буд. Маҳлулҳои мувозинатӣ бо фазаҳои саҳт дар ҳарорати $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ омода шуда, сипас то $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ хунук карда шудаанд, баъд аз ин муқаррар гардид, ки дар он фазаи $5\text{Ca}\cdot\text{Na}\cdot3$ ба назар намерасад. Чунин тағиироти фазавӣ барои Бр, Пр, Тe, C₇, C·10 низ ба назар мерасад. Аз диаграмма дида мешавад, ки ҳаҷми кристаллизатсияи гипс ва калтсит дар системаи чоркомпонента фосилаи ҳароратҳои 0-100 $^{\circ}\text{C}$ -ро дар бар мегирад. Тенардит дар ҳароратҳои аз $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ то $28,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ вуҷуд дошта, зимни хунукшави аз ҳароратҳои нишондодашуда он ба мирабилит мубаддал мегардад. Майдони глауберит дар системаи секомпонентай $\text{Na}^{+}\text{--Ca}^{2+}\text{--SO}_4^{2-}\text{--H}_2\text{O}$ оғоз ёфта, дар изотермай $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ пайдо шуда то $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ вуҷуд дошта метавонад.

ХУЛОСАХОИ УМУМӢ

1. Таҳлили адаётҳои мавҷуда нишон дод, ки системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар ҳароратҳои 0,16-100,16 $^{\circ}\text{C}$ қисман омухта шуда, вале диаграммаи комплекси фазагии он сохта нашудаст.
2. Дар асоси далелҳои мавҷуда маротибаи аввал диаграммаҳои ҳалшавандагии системаҳои секомпонентай: $\text{Ca}^{2+} - \text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$; $\text{Ca}^{2+} - \text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ ва $\text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-} - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$, ки системаи чоркомпонентай $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ - ро ташкил медиҳанд барои ҳароратҳои 0,16-100,16 $^{\circ}\text{C}$ сохта шудааст.
3. Диаграммаи политетмии системаи иборат аз сулфат, карбонатҳои натрийю об дар асоси ҳалшавандагиашон сохта шуда, кристаллизатсияи фазаҳои алоҳидай он муайян карда шудааст ва политетмаи комплекси фазагии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ бо усули траслятсия омухта шуда, маротибаи аввал диаграммаҳои сарбастаи комплекси фазагии он барои ин ҳароратҳо сохта шудааст.
4. Таҳлили муқоисави соҳтори диаграммаҳои комплекси фазагии системаи $\text{Ca}^{2+}, \text{Na}^+ \parallel \text{CO}_3^{2-}, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ дар политетма амали 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 соҳтори 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 $^{\circ}\text{C}$ омухта шуда, диаграммаи ҳалшавандагии он, барои ин ҳароратҳо сохта шудааст, ҳамзамон координатаҳои шаклҳои геометрии система дар изотермаҳои додашуда муқаррар гардидааст.

ТАВСИЯХО ОИДИ ИСТИФОДАИ АМАЛИИ НАТИЧАХОИ ТАДҚИҚОТ

Натижаҳои муҳимтарини ноилгашта, зимни ичрои рисолаи илмӣ-тадқиқотии PhD дар раванди таълим дар тадриси фанни «Асосҳои таҳлили физико-химиявӣ» барои магистрон ва ҳамчун курси маҳсус барои бакалаврҳои ихтисоси химияи ДДОТ ба номи С.Айнӣ, инчунин дар пешгӯй намудани мувозинатҳои фазагии системаҳои панҷшашкомпонентаи ин системаро дошта ва соҳтани диаграммаҳои комплекси фазагии (мувозинатҳои фазагии) онҳо истифода шуда истодааст. Ҳамзамон натижаҳои ноилгардидаи назариявӣ ва амалӣ (таҷрибавӣ) метавонад ҳамчун маводи маълумотномавӣ дар омӯзиши системаҳои химиявии компонентнокиашон зиёд, инчунин ҳамчун асоси илмии коркарди ашёи табиии полиминералий ва техникии мураккаби аз карбонатҳо, сулфатҳои калтсийю натрий ташкилёфта истифода шавад.

АДАБИЁТИ ИСТИФОДАШУДА

1. Аносов, В.Я. Основы физико-химического анализа / В.Я. Аносов, М.И. Озерова, Ю.Я. Фиалков -М.: Наука,-1976. -506 с.
2. Курнаков, Н.С. Введение в физико-химический анализ / Н.С. Курнаков -М.-Л.: Изд. АН СССР.-1940. -562 с.
3. Перельман, Ф.М. Методы изображения многокомпонентных систем / Ф.М. Перельман -М.: Изд. АН СССР. -1959. -136 с.
4. Перельман, Ф.М. Изображение химических диаграмм с любым числом компонентов / Ф.М. Перельман -М.: Наука, -1965. -98 с.
5. Горощенко, Я.Г. Массцентрический метод изображения многокомпонентных систем / Я.Г. Горощенко -Киев: Наукова думка, -1982. -264 с.
6. Горощенко, Я.Г. Основные направления в методологии физико-химического анализа сложных и многокомпонентных систем / Я.Г. Горощенко, Л.Солиев // Журнал неорганической химии. -1987. -Т.32. - № 7. -С. 1676-1681.
7. Pitser, K.S. Termodynamcs of electrolytes 1V. Activity and osmotic coefficients for mixed electrolytes / K.S. Pitser, J. Kim // Journal American Chemical Soctarey. -1974. -V.96. -№ 18. -P. 5701-5707.
8. Wood, J.R. Termodynamica of brine-Salt egalibria the systems NaCl-KCl-MgCl₂-CaCl₂-H₂O at 25⁰C / J.R.Wood // Geochim at Cosmochim Acta. - 1975. -V.39. -№ 8. -P. 1147-1163.
9. Harviec, E. The prediction of miniral Soliblities natural water the Na-K-Mg-Ca-Cl-SO₄-H₂O system from / E. Harviec, J.H. Weare // Geochem at Cosmochim Acta. -1980. -V. 44. -№ 7. -P. 981-995.
10. Eugster, H.P. The prediction of mineral solubilities natural water the Na-K-Mg-Ca-Cl-SO₄-H₂O system from zero to high concentration at 25⁰C / H.P. Eugster, C.F. Harvie, J.H. Weare // Geochem at Cosmochim Acta. -1980. - V. 44. -№ 9. -P. 1335-1347.

- 11.Harvie, C.F. Mineral equilibrium in a six-components seawater system Na-K-Mg-Ca-Cl-SO₄-H₂O at 25°C II compositions of the soluted solutions / C.F. Harvie, H.P. Eugster, J.H. Weare // Geochim et Cosmochim Acta. - 1982, -V. 46. -№ 9. -P. 1603-1618.
- 12.Посыпайко, В.И. Методы исследования многокомпонентных солевых систем / В.И. Посыпайко -М.: Наука, -1978. -256 с.
- 13.Бережной, А.С. Многокомпонентные системы окислов / А.С. Бережной -Киев: Наукова думка, -1970. -544 с.
- 14.Радищев, В.П. Многокомпонентные системы / В.П. Радищев -М.: ИОНХ АН СССР.-1963. -502 с.
- 15.Домбровская, Н.С. Методы разбиения диаграмм свойства многокомпонентных систем по индексам вершин для призмы 1-го рода / Н.С.Домбровская, Е.А. Алексеева // Журнал неорганической химии. -1960. -Т.5. -№11. -C.2612-2620.
- 16.Домбровская, Н.С. Установление относительной стабильности солей в многокомпонентных взаимных системах / Н.С. Домбровская, В.И. Посыпайко // Журнал неорганической химии. - 1962. -Т.7. -№10. -C.2434-2437.
- 17.Трунин, А.С. О методологии экспериментального исследования многокомпонентных солевых систем / А.С.Трунин // -Тр. Ин-та геол.и геоф. СО АН СССР. -1980. -№443. -C.37-73.
- 18.Трунин, А.С. Реализация комплексной методологии исследования химического взаимодействие и фазовых равновесий в многокомпонентных системах / А.С. Трунин // -Деп. в ВИНИТИ АН СССР. -№707-82 деп. от 17.02.82 г.
- 19.Трунин, А.С. Основы тенденции в использовании диаграмм состояния систем / А.С. Трунин // -Деп. в ВИНИТИ АН СССР. - №1072-82 деп. от 12.03.82 г.
- 20.Трунин, А.С. Комплексная методология химического взаимодействия в многокомпонентных солевых системах / А.С. Трунин // -Деп. в ВИНИТИ АН СССР. -№1731-82 деп. от 12.04.82 г.

21. Трунин, А.С. Выявление характера и месторасположения точек нонвариантного равновесия / А.С. Трунин // -Деп. в ВИНИТИ АН СССР.-№5143-82 деп. от 12.10.82г.
22. Горощенко, Я.Г., Солиев Л. Основные направления в методологии физико-химического анализа сложных и многокомпонентных систем (к 125 летию Н.С.Курнакова) / Я.Г. Горощенко, Л. Солиев // Журнал неорганической химии. -1987. -T32. -№7. -C.1676-1682.
23. Солиев, Л. Прогнозирование фазовых равновесий в многокомпонентных водно-солевых системах / Л. Солиев // - Автореф.дисс.докт.хим.наук.-Киев: -1988. -50 с.
24. Солиев, Л. Прогнозирование строение диаграмм фазовых равновесий многокомпонентных водно-солевых систем методом трансляции / Л. Солиев -М.: -1987, // -Деп. в ВИНИТИ АН СССР.- 20.12.87 г. -№8950. -B87.
25. Солиев, Л. Схематические диаграммы фазовых равновесий в многокомпонентных системах / Л. Солиев // Журнал неорганической химии. -1988. -T33. -№5. -C.1305-1310.
26. Солиев, Л., Горощенко Я.Г. Фазовые равновесия в системе Na,K,Mg,Ca//SO₄,Cl-H₂O при 25⁰C фрагмент арканита / Л. Солиев, Я.Г. Горощенко // Украинский химический журнал. -1987. -T.53. - №5. -C.461-465.
27. Солиев, Л. Фазовые равновесия в системе Na,K,Mg,Ca//SO₄,Cl-H₂O при 25⁰C фрагмент шенита и леонита / Л. Солиев // Украинский химический журнал. -1988. -T.54. -№2. -C.121-124.
28. Солиев, Л. Фазовые равновесия изотермы 25⁰C системы Na,K,Mg,Ca//SO₄,Cl-H₂O фрагмент каинита / Л. Солиев // Журнал неорганической химии. -1992. -T.37. -№9. -C.2106-2110.
29. Солиев, Л. Фазовые равновесия изотермы 25⁰C системы Na,K,Mg,Ca//SO₄,Cl-H₂O фрагмент глазерита / Л. Солиев // Журнал неорганической химии. -1995. -T.40. -№7. -C.1206-1208.

30. Авлоев, Ш.Х. Фазовые равновесия и растворимость в системе $\text{Na},\text{K}|\text{SO}_4,\text{CO}_3,\text{F}-\text{H}_2\text{O}$ при 0 и 25 $^{\circ}\text{C}$ / Ш.Х. Авлоев // Автореф. дисс. канд. наук. –Душанбе, -2007. -22 с.
31. Мусоджонова, Дж.М. Фазовые равновесия и растворимость в системе $\text{Na},\text{K}|\text{SO}_4,\text{HCO}_3,\text{F}-\text{H}_2\text{O}$ при 0 и 25 $^{\circ}\text{C}$ / Дж.М. Мусоджонова // Автореф. дисс. канд. наук. –Душанбе, -2011. -24 с.
32. Солиев, Л. Фазовые равновесия в системе $\text{Na},\text{K},\text{Mg},\text{Ca}|\text{SO}_4,\text{Cl}-\text{H}_2\text{O}$ при 25 $^{\circ}\text{C}$ в области кристаллизации гипса / Л. Солиев // Журнал физической химии. -1999. -Т.73. -№5. -С.589-592.
33. Турсунбадалов, Ш.Т. Фазовые равновесия и растворимость в системе $\text{Na},\text{K}|\text{SO}_4,\text{CO}_3,\text{HCO}_3-\text{H}_2\text{O}$ при 0 и 25 $^{\circ}\text{C}$ / Ш.Т. Турсунбадалов // Автореф. дисс. канд. наук. –Душанбе, -2010. 24 с.
34. Солиев, Л. Система $\text{NaCl}-\text{KCl}-\text{MgCl}_2-\text{CaCl}_2-\text{H}_2\text{O}$ при температуре 25 $^{\circ}\text{C}$ / Л.Солиев // Журнал неорганической химии. -1779. -Т.24. - №11. -С.3112-3115.
35. Нури, В.Н. Фазовые равновесия и растворимость в системе $\text{Na},\text{Ca}|\text{SO}_4,\text{HCO}_3,\text{F}-\text{H}_2\text{O}$ при 0 и 25 $^{\circ}\text{C}$ / В.Н. Нури // Автореф. дисс. канд. наук. –Душанбе, -2016. -25 с.
36. Перова, А.П. Физико-химическое исследование равновесий в многокомпонентных водно-солевых системах из хлоридов и сульфатов калия, магния и кальция / А.П.Перова //Автореф. дисс. докт. наук. -Фрунзе. -1973. -53 с.
37. Лепешков, И.Н. Физико-химическое изучение системы из $\text{K}_2\text{SO}_4-\text{MgSO}_4-\text{CaSO}_4-\text{H}_2\text{O}$ при 35 $^{\circ}\text{C}$ / И.Н. Лепешков, Л.В. Новикова // Журнал неорганической химии. -1958. -Т.3. -№10. -С.2393-2407.
38. Гуломикбол, Г. Фазовые равновесия и растворимость в системе $\text{Na},\text{Ca}|\text{CO}_3,\text{HCO}_3,\text{F}-\text{H}_2\text{O}$ при 0 и 25 $^{\circ}\text{C}$ / Г. Гуломикбол // Автореф. канд. наук. –Душанбе, -2018. 59 с.
39. Горощенко, Я.Г. Определение положения нонвариантных точек на диаграммах растворимости методом донасыщения / Я.Г.

- Горощенко, Л. Солиев, Ю.И. Горников // Украинский химический журнал. -1987. -Т.53. -№6. -С.568-571.
- 40.Soliev, L. Phase equilibrium of Na,Ca||SO₄,CO₃,HCO₃-H₂O systems at 50°C / L. Soliev, M.T. Jumaev // Applied solid state chemistry, -№ 4(5). -2018. P.192-198.
- 41.Бодалева, Н.В. Исследование растворимости в системе K₂SO₄-MgSO₄-CaSO₄-H₂O при температуре 55°C / Н.В. Бодалева, И.Н. Лепешков // Журнал неорганической химии.-1956.-Т.1. -№5. -С.995-1007.
- 42.Низомов, И.М. Фазовые равновесия и растворимость системы Na,K||CO₃,HCO₃,F-H₂O при 0 и 25°C / И.М. Низомов // Автореф. канд. хим. наук. –Душанбе, -2009. -22 с.
- 43.Солиев, Л. Фазовые равновесие в системе K,Mg,Ca//SO₄,Cl-H₂O при 55°C / Л. Солиев, Я.Г. Горощенко, М.А. Горников, Н.М. Патриляк // Украинский химический журнал. -1991. -Т.57. -№4. -С.351-355.
- 44.Tursunbadalov, Sh. Phase Equilibria in the quinery Na,K//SO₄,CO₃,HCO₃-H₂O system at 75°C / Sh. Tursunbadalov, L. Soliev // Journal of Solution Chemistry. -2015, -Vol. 44. -Issue 8, -P.1626-1639.
- 45.Жумаев, М.Т. Фазовые равновесия и растворимость в системе Na,Ca||SO₄,CO₃,HCO₃-H₂O при 0 и 25°C / М.Т.Жумаев // Автореф. дисс. канд. хим. наук. –Душанбе, -2018. 24 с.
- 46.Горощенко, Я.Г. Система MgO-FeO-Al₂O₃-SiO₂. / Я.Г. Горощенко, Л. Солиев // Журнал неорганической химии. -1985. -Т.30. -№5. -С.1348-1351.
- 47.Горощенко, Я.Г. Строение системы MgO-CaO-FeO-Al₂O₃ / Я.Г. Горощенко, Л. Солиев // Журнал неорганической химии. -1985. -Т.30. -№10. -С.2669-2671.
- 48.Горощенко, Я.Г. Диаграмма состояния системы MgO- CaO-FeO-SiO₂. / Я.Г. Горощенко, Л. Солиев // Журнал неорганической химии. -1986. -Т.31. -№6. -С.1526-1529.

- 49.Горощенко, Я.Г. Строение системы CaO-FeO-Al₂O₃- SiO₂. / Я.Г. Горощенко, Л. Солиев // Журнал неорганической химии. -1987. - Т.32. -№1. -С.188-192.
- 50.Горощенко, Я.Г. Строение системы MgO-CaO-Al₂O₃- SiO₂. / Я.Г. Горощенко, Л.Солиев // Журнал неорганической химии. -1987. - Т.32. -№4. -С.1033-1037.
- 51.Горощенко, Я.Г., Солиев Л. Система MgO-CaO-FeO-Al₂O₃- SiO₂. Я.Г. Горощенко, Л. Солиев // -Журнал неорганической химии. - 1987. -Т.32. -№8. -С.2023-2028.
- 52.Вант-Гофф, Я.Г. Океанские соляные отложения / -Л.: -ОНТИ. -1936. -344 с.
- 53.Лепешков, И.Н. Калийные соли Волга-Эмбы и Прикарпатья / И.Н. Лепешков -М.; -Л.: -Изд. АН СССР. -1946. -152 с.
- 54.Здановский, А.Б. Галлургия / А.Б. Здановский. -Л.: -Химия. -1972. - 528 с.
- 55.Шлезингер, Н.А. Условия образования каинита / Н.А. Шлезингер, Ф.П. Зоркин, Е.В.Петухова // -ДАН СССР. -1940. -Т.27 -№5. -С.466-469.
- 56.Янатьева, О.К. Исследование равновесий в морской системе Na,K,Mg//SO₄,Cl-H₂O при 25⁰C / О.К. Янатьева // Изв. СФХА ИОНХ АН СССР. -1949. -Т.17. -С.370-382.
- 57.Бергман, А.Г. Физико-химические основы изучения и использования соляных месторождений хлоридно-сульфатного типа / А.Г. Бергман, Н.П. Лужная / -М.: -Изд. АН СССР. -1951. -232 с.
- 58.Лепешков, И.Н. Физико-химические изучение систем из солей морского типа / И.Н. Лепешков // Химическая наука и промышленность. -1957. -Т.2. -№6. -С.687-692.
- 59.Мандель, Р.А. Современные методы переработки природных калийных солей // Журнал прикладной химии. -1962. -Т.35. -№1.- С.3-18.

- 60.Янатьева, О.К. О политерме растворимости системы Na,K,Mg//SO₄,Cl-H₂O / О.К. Янатьева, В.Г.Орлова // -ДАН СССР. - 1962. -Т.142. -№1. -С.102-104.
- 61.Орлова, В.Г. О явлениях высаливания в водно-солевых системах морского типа / В.Г. Орлова, О.К.Янатьева // Журнал неорганической химии. -1971. -Т.26. -№10. -С.2779-2781.
- 62.Лепешков, И.Н. Физико-химический анализ неорганических систем природных солей / И.Н.Лепешков //Журнал неорганической химии. -1980. -Т.25. -№1. -С.266-271.
- 63.Спирин, Н.С. Исследования процесса растворения минеральных солей / Н.С. Спирин // -Тр.ВНИИГ. -1967. -в.50. -С.10-101.
- 64.Хабер, Н.В. Производство концентрированных калийных удобрений из полиминеральных руд / Н.В.Хабер, Ю.Н. Лунькова – Киев: Техника, -1980. -158 с.
- 65.Солиев, Л. Исследование условий кристаллизации сульфатных калийных солей из хлоридно-сульфатных растворов Л.Солиев, Я.Г. Горощенко // Химическая технология. -1982. -№3. -С.17-19.
- 66.Солиев, Л., Горощенко Я.Г. Исследование регенерации калийно-магниевых солей из хлоридно-сульфатных растворов / Л.Солиев, Я.Г.Горощенко // -Компл. исполз. минерального сырья. -1983. - №11. -С.69-72.
- 67.Солиев, Л. Исследование регенерации калийно-магниевых солей из маточных шенитовых растворов в производстве безхлорных калийных удобрений / Л. Солиев, Я.Г. Горощенко, Л.А. Борисенко, Ю.И. Герников // -Журнал прикладной химии. -1987. -Т.58. -№4. - С.721-724.
- 68.Солиев, Л. Исследование пути кристаллизации при упаривании маточных шенитовых щелоков / Л. Солиев, Я.Г. Горощенко // - КИМС. -1986. -№3. -С.55-61.
- 69.Шарипов, М. Фазовые равновесие в системе Na,Ca//SO₄,Cl-H₂O и возможности комплексной переработки соляных месторождений

- Таджикистана / М. Шарипов, Л.Солиев //Материалы научной конференции посвященной памяти акад. Нуманова И.Х. (тезисы докладов). –Душанбе, -1994. -С.33-37.
- 70.Шарипов, М. Соляные месторождения Таджикистана и перспективы их комплексного использования / М. Шарипов, Л.Солиев // Материалы научной конференции. «Теоретические прикладные проблемы химии» (Тезисы докладов). –Душанбе, -1995. -С.11-16.
- 71.Солиев, Л. Физико-химические основы комплексной переработки соляных месторождений Таджикистана / Л. Солиев, М. Шарипов, А. Тошов // Материалы международного симпозиума «Рациональное использование и охрана природных ресурсов предгорных территорий Республики Таджикистан». Душанбе, - ТГПУ. -С.122-123.
- 72.Справочник экспериментальных данных по растворимости многокомпонентных водно-солевых систем. -Т.1., кн. 1-2. -СПб.: Химиздат, -2003, -1152 с.
- 73.Справочник экспериментальных данных по растворимости многокомпонентных водно-солевых систем. -Т.2, кн. 1-2, -СПб.: Химиздат, -2004, -1248 с.
- 74.Soliev, L.Phase equilibria in the Na,Ca//SO₄,CO₃,HCO₃–H₂O system at 0 °C / L. Soliev, M.T. Jumaev // Chimica Techno Acta. -2019. -Vol. 6. №.1. -P. 24–30.
- 75.Солиев, Л. Изотерма растворимости и фазовых равновесий системы Na,Ca//SO₄,CO₃-H₂O при 0 и 25°C / Л.Солиев, М.Т. Джумаев, М. Усмонов, И.Низомов // Материалы Международной конференции «Термический анализ и калориметрии (RTAC-2016). Часть II. Г. Санкт-Петербург, С.322-324.
- 76.Soliev, L. Phase equilibrium of Na,Ca||SO₄,CO₃,HCO₃-H₂O systems at 50 °C / L. Soliev, M.T. Jumaev // Applied solid state chemistry. -№ 4(5). -2018. -P.192-198.

77. Солиев, Л. Таҳлили муқоисавии диаграммаи ҳалшавандагии системаи $\text{Na},\text{Ca}|\text{SO}_4,\text{CO}_3-\text{H}_2\text{O}$ дар ҳароратҳои 0, 25 ва 50°C / . Л. Солиев, М.Т. Жумаев, X.Р. Махмадов, Д.З. Музафарова, Н.В.Олимҷонова // Паёми Донишгоҳи омӯззорӣ (бахши илмҳои табиатшиносӣ). -2021. -№1 (10-11). -С.253-257.
78. Солиев, Л., Фазовый комплекс взаимной системы $\text{Na},\text{Ca}|\text{SO}_4,\text{CO}_3-\text{H}_2\text{O}$ при 75 и 100°C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, X.Р. Махмадов, Д.З. Музафарова, Н.В.Олимҷонова // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. -Том 63. -№9-10. -2020. С.618-625.
79. Маҳмадов, X.Р. Комплекси фазагии системаи иборат аз сулфатҳо, карбонатҳои натрию калтсий ва об дар муқоиса ба ҳароратҳои 25, 50 ва 75°C / X.Р. Маҳмадов // Паёми Донишгоҳи техналогии Тоҷикистон. -2022. -№ 2(49). -С.43-50.
80. Солиев, Л. Фазовый комплекс системы $\text{Na},\text{Ca}|\text{SO}_4,\text{CO}_3,\text{HCO}_3-\text{H}_2\text{O}$ при 75°C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, И.М. Низомов // Узбекский химический журнал. -2020. -№5. -С.16-24.
81. Soliev, L. Phase complex of the system $\text{Na},\text{Ca}|\text{SO}_4,\text{CO}_3,\text{HCO}_3-\text{H}_2\text{O}$ at 100°C / L. Soliev, M.T. Jumaev // Chimica Techno Acta. -2020. -Vol.7. - №2. -P.71-80.
82. Солиев, Л. Соҳтори диаграммаи мувозинатҳои фазагии системаи $\text{Na},\text{Ca}|\text{SO}_4,\text{CO}_3,\text{HCO}_3-\text{H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 100°C // Л. Солиев, М.Т. Жумаев // Паёми политехники. (Бахши тадқиқотҳои муҳандисӣ). - 2021. -№ 2(54). -С.49-56.
83. Эрматов, А.Г. Утилизация отходов производства алюминия / А.Г. Эрматов, У.М. Мирсаидов, X.С. Сафиев, Б. Азизов. -Душанбе, Дониш. -2006. -62 с.
84. Мирсаидов, У.М. Проблемы экологии и комплексная переработка сырья и отходов производства / У.М. Мирсаидов, М.Э. Исматдинов, X.С. Сафиев. -Душанбе, Дониш. -1999. -53 с.

85. Морозова, В.А. Растворимость в системе $\text{NaF-Na}_2\text{SO}_4\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ при 0°C / В.А. Морозова, Э.П. Ржечицкий // Журнал прикладной химии. -1976. -Т.49. -№ 5. -С.1152-1158.
86. Морозова, В.А. Растворимость системах $\text{NaF-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$, $\text{NaF-Na}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ и $\text{NaF-Na}_2\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ при 0°C / В.А. Морозова, Э.П. Ржечицкий // Журнал неорганической химии. -1977. -Т.22. -№ 3. -С.873-881.
87. Гиллер, Я.Л. Таблицы межплоскостных расстояний / Я.Л. Гиллер - Т.П. -Изд. Недра. Москва: -1966. -С.95-153.
88. Михеева, В.И. Рентгенометрический определитель минералов / В.И. Михеева. -Изд. Госгеолтехиздат. -М.: -1975. 478 с.
89. Soliev, L. Solubility in the $\text{Na,Ca//SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ system at 0°C / L. Soliev, M.T. Jumaev, M.B. Usmonov // Russian Journal of inorganic chemistry. -2016. -Vol.61. -№ 8. -P.1041-1046.
90. Махмадов, X.Р. Диаграммаи ҳалшавандагии системаи $\text{Na,Ca//SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 0°C / X.Р. Махмадов, Л. Солиев, М.Т. Чумаев // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Перспективы инновационной технологии в развитии химической промышленности Таджикистана». -Душанбе, -2017. С.69-71.
91. Анализ минерального сырья (под общей ред. Книпович Ю.Н., Морачевского Ю.В.). Изд. «Госхимиздат». -Л.: -1959. -947 с.
92. Крещков, А.П. Основы аналитической химии / А.П. Крещков. - Изд. -Химия. -1970. -Т.2. -С.181-183.
93. Татарский, В.Б. Кристаллооптика и иммерсионный метод анализа веществ / В.Б. Татарский. -Л.: -ЛГУ. -1948. 149 с.
94. Soliev, L. Structure of solubility diagram of the quaternary $\text{Na,Ca//SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ water-salt system at 25°C / L.Soliev, M.Jumaev, Sh.Tursunbadalov, M.Usmonov, Sh.Avloev // Austrian journal of Technical and Natural Sciences. -2016. -№ 9-10. -P. 83-90.

95. Soliev, L. Solubility in the $\text{Na},\text{Ca}/\text{SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ system at 25 °C / L. Soliev, M.T. Jumaev, M. Usmonov, I. Nizomov // Russian Journal of Inorganic Chemistry. -2016. -Vol.61. -№ 5. -P.651-656.
96. Солиев, Л. Растворимость в системе $\text{Na},\text{Ca}/\text{SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ при 25 °C. / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, М.Б. Усмонов, И.М. Низомов // Журнал неорганической химии РАН. -2016. -T.61. -№5. -C.683-688.
97. Soliev, L. Solubility in the system $\text{Na},\text{Ca}/\text{SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ at 50 °C / L. Soliev, M.T. Jumaev, H. Makhmadov // Russian Journal of Inorganic Chemistry. -2019. -Vol.64. -№ 2. -P.270-276.
98. Маҳмадов, Ҳ.Р. Муқоисаи ҳалшавандагӣ дар нуқтаҳои нонвариантӣ системаи $\text{Na},\text{Ca}/\text{SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ барои диапазонаи 0-50 °C / Ҳ.Р.Маҳмадов // Маводи конференсияи байналхалқӣ дар мавзӯи «Рушди илмҳои химия, технология ва экология». 12-13 майи соли 2023. -Душанбе. -С. ...
99. Солиев, Л. Прогнозирование фазовых равновесий в многокомпонентной системе морского типа методом трансляции / Л. Солиев. -Душанбе, Эрграф. -2019. -236 с.
100. Солиев, Л. Строение фазового комплекса и растворимость водно-солевой системы из сульфатов, карбонатов, гидрокарбонатов натрия и кальция / Л. Солиев, М.Т. Жумаев // - Душанбе, Балоғат. -2020, -212 с.
101. Маҳмадов, Ҳ.Р. Политермаи системаи $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ // Маводи конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалӣ дар мавзӯи «Вазъи кунунӣ ва дурнамои таҳлили физико-химиявӣ». 15-16 марта 2023. - Душанбе, -С. 79-82.
102. Soliev, L. 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. -P.104-108.

ИНТИШОРОТ АЗ РЎИ МАВЗЎИ ДИССЕРТАЦИЯ

Нахустпатент:

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

Мақолаҳои илмии маҷаллаҳои тақризшаванд:

[1-М]. **Махмадов, X.P.** 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, **X.P. Махмадов** // Химический журнал Казахстана. 2017. № 4 (60). -С.29-35.

[2-М]. **Makhmadow, 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. Makhmadow**, B.B. Dzabborov // Chimica Techno Acta. 2018. Vol. 5 № 2. PP.104-108.

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

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

[5-М]. **Махмадов, X.P.** Таҳлили муқоисавии соҳтори 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, **X.P. Махмадов**, Н.В. Олимҷонова // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон: Бахши илмҳои табиӣ. 2019. № 2. С.179-184.

[6-М]. **Махмадов, X.P.** Фазовый комплекс взаимной системы $\text{Na},\text{Ca}|\text{SO}_4,\text{CO}_3-\text{H}_2\text{O}$ при 75 и 100 °C / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, **X.P. Махмадов**, Д.З. Музафарова, Н.В. Олимҷонова // Доклады АН РТ. 2020. Т.63. №9-10. С.618-625.

[7-М]. **Махмадов, X.Р.** Таҳлили муқоисавии диаграммаи ҳалшавандагии системаи $\text{Na},\text{Ca}|\text{SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ дар ҳароратҳои 0, 25 ва 50 $^{\circ}\text{C}$ / **Л. Солиев**, М.Т. Жумаев, **X.Р. Махмадов**, Д.З. Музафарова, Н.В. Олимчонова // Паёми Донишгоҳи омуздорӣ: (Бахши илмҳои табиатшиносӣ). 2021. №1(10-11). С.253-257.

[8-М]. **Махмадов, X.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 $^{\circ}\text{C}$ / Л. Солиев, М.Т. Жумаев, О.Р. Тураев, Н.В. Олимджонова, **X.Р. Махмадов** // Известия НАНТ. 2021. №1(182). С.82-89.

[9-М]. **Махмадов, X.Р.** Комплекси фазагии системаи иборат аз сулфатҳо, карбонатҳои натрию калтсий ва об дар муқоиса ба ҳароратҳои 25, 50 ва 75 $^{\circ}\text{C}$ / **X.Р. Махмадов** // Паёми Донишгоҳи техннологии Тоҷикистон. 2022. № 2(49). С.43-50.

[10-М]. **Makhmadov, H.R.** Formation of invariant quilibria 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. Muzaferova // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2022. № 3-4. PP.35-43.

[11-М]. **Махмадов, X.Р.** Изотермаи ҳалшавандагии системаи $\text{Na},\text{Ca}|\text{SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ дар 50 $^{\circ}\text{C}$ / М.Т. Жумаев, **Л. Солиев**, **X.Р. Махмадов**, Д.З. Музафарова // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон: Бахши илмҳои табиатшиносӣ. 2022. №3. С.248-257.

Фишурдаи маърӯзаҳо дар конференсияҳои байналхалқӣ ва ҷумҳурияйӣ

[1-М]. **Махмадов, X.Р.** Диаграммаи ҳалшавандагии системаи $\text{Na},\text{Ca}|\text{SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ дар ҳарорати 0 $^{\circ}\text{C}$ / **X.Р. Махмадов**, Л. Солиев, М.Т.Жумаев // Маводи конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалӣ дар мавзӯи «Дурнамои инкишофи саноати кимиёи Тоҷикистон». Душанбе. 2017. С.69-71.

[2-М]. **Махмадов, X.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

- $^{\circ}\text{C}$ / 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-М]. **Махмадов, Х.Р.**Фазовые равновесия в четырёхкомпонентной системе $\text{Na},\text{Ca}/\text{SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ при $75\ ^{\circ}\text{C}$ / 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-М]. **Махмадов, Х.Р.** Растворимость системы $\text{Na},\text{Ca}/\text{SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ при $50\ ^{\circ}\text{C}$ / 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-М]. **Махмадов, Х.Р.** Строение диаграммы фазового комплекса системы $\text{Na},\text{Ca}||\text{CO}_3,\text{HCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ при $50\ ^{\circ}\text{C}$ / 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.** 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 $100\ ^{\circ}\text{C}$ / М.Т. Жумаев, Л. Солиев, Н.В. Олимджонова, Д.З. Музарова, **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 нонвариантных точек системы $\text{Na},\text{Ca}||\text{SO}_4,\text{CO}_3,\text{HCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ при $0\ ^{\circ}\text{C}$ / 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, X.Р.** Комплекси фазагии системаи $\text{Na}_2\text{Ca}||\text{SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ дар ҳароратҳои 75 ва 100 $^{\circ}\text{C}$ / **Л. Солиев, X.Р. Махмадов**, М.Т. Жумаев, Д.З. Музафарова, Н.В. Олимчонова // Маводи конференсияи байналмилалии илмию амалӣ дар мавзӯи «Проблемаҳои муосири саноати металлургӣ» 2021. Душанбе. С.160-163.
- [9-М]. **Махмадов, X.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 $^{\circ}\text{C}$ / Н.В. Олимджонова, Л. Солиев, М.Т. Жумаев, **X.Р. Махмадов** // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «IV Байкальский материаловедческий форум». 2022. Улан-Удэ. С.125-126.
- [10-М]. **Махмадов, X.Р.** Политермаи системаи $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ / **X.Р. Махмадов** // Маводи конференсияи чумхуриявии илмӣ-амалӣ дар мавзӯи «Вазъи кунунӣ ва дурнамои таҳлили физико-химиявӣ». 2023. Душанбе. С.79-82.
- [11-М]. **Махмадов, X.Р.** Муқойсаи ҳалшавандагӣ дар нуқтаҳои нонвариантии системаи $\text{Na}_2\text{Ca}||\text{SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ барои диапазонаи 0-50 $^{\circ}\text{C}$ / **X.Р. Махмадов** // Маводи конференсияи байналхалқӣ дар мавзӯи «Рушди илмҳои химия, технология ва экология». 2023. Душанбе. С. 124-126.

ЗАМИМАХО

ЧУМХУРИИ
ТОЧИКИСТОН



ИДОРАИ
ПАТЕНТИ

ШАҲОДАТНОМА

Шаҳрванд Махмадов Ҳ.Р.

муаллифи ихтирои *Тарзи ҳосил намудани декагидрати карбонати натрий аз
партовҳои моеъи саноатии алюминий*

Ба ихтироъ
нахустпатенти № Т.Л 1341 дода шудааст.

Дорандай
нахустпатент Жумаев М.Т.

Сарзамин Чумхурии Тоҷикистон
Ҳаммуаллиф(он) Жумаев М.Т., Джураев Т.Дж., Низомов И.М.,
Олимчонова Н.В., Музарова Д.З., Маматов Э.Ч., Амирзода О.Х.

Аввалияти ихтироъ 05.05.2022

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 05.05.2022
Аризан № 2201674

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои Чумхурии Тоҷикистон
30 явари с. 2023 ба қайд гирифта шуд
Наҳустпатент
эътибор дорад аз 5 майи с. 2022 то 5 майи 2032 с.

Ин шаҳодатнома ҳангоми амали гардонидани хукуқу
имтиёзхое, ки барои муаллифони ихтироот бо қонунгузории
чорӣ мукаррар гардидаанд, нишон дода мешавад

ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.



ПРИЛОЖЕНИЕ



АКТ

Мы, нижеподписавшиеся: декан химического факультета, кандидат химических наук, доцента Муродов Д.С., заместитель декана химического факультета, старший преподаватель Сайдов Д., заведующий кафедрой «Общая и неорганическая химия», кандидат химических наук, доцента Низомов И.М. составили настоящий акт о внедрении в учебный процесс результатов диссертационной работы выполненной Махмадовым Х.Р. на соискание ученой степени доктора философии PhD по специальности 6D060600 – химия (6D060601 – неорганическая химия).

Диссертационная работа ассистента кафедры «Общая и неорганическая химия» Махмадова Хафизулло Раҳматулоевича на тему: «Политерма растворимости и фазовый комплекс водно-солевой системы сульфаты, карбонаты натрия и кальция», представленная на соискание ученой степени доктор философии PhD по специальности 6D060600 – химия (6D060601 – неорганическая химия), выполнена в рамках госбюджетной НИР «Растворение и кристаллизация солей в многокомпонентной системе из сульфатов, карбонатов, гидрокарбонатов, фторидов натрия, калия и кальция» (№ГР 0119ТJ00957), где впервые методом трансляции прогнозированы и построены диаграммы фазовых равновесий взаимной системы Ca^{2+} , Na^+ || CO_3^{2-} , SO_4^{2-} – H_2O , составляющих ее подсистем, а также изучена растворимость и построены диаграммы трёх-четырёхкомпонентных систем.

Полученные теоретические и экспериментальные данные выполненной диссертационной работы используются как учебный материал при преподавании курса «Основы физико-химического анализа» как спецкурс для студентов старших курсов бакалавриата и как основной предмет для студентов магистратуры.

Декан химического факультета
ТГПУ им. С.Айни, к.х.н., доцент

D. Muradov Муродов Д.С.

Заместитель декана по учебной работе *D. Saidov* Сайдов Д.

Заведующий кафедрой «Общая и
неорганическая химия», к.х.н., доцент

I.M. Nizomov Низомов И.М.