

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნანა რაჭველიშვილი

**მრავალმინერალური კომპოზიციიდან მინანქრის მიღების
ფიზიკურ-ქიმიური ასპექტები ტექნოგენური ნედლეულის
გამოყენების მაგალითზე**

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ა კ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2012 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიური დეპარტამენტის ფიზიკური და კოლოიდური ქიმიის მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ტ.მ.დ. სრული პროფ. არჩილ სარუხანიშვილი

რეცენზენტები: -----

დაცვა შედგება 2012 წლის „----“ -----, ----- საათზე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი II, აუდიტორია -----
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 69.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატის სტუ-ს ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალობა. მსოფლიოში მინანქრის მიღებისათვის განკუთვნილ კომპოზიციებში შემავალი ძირითადი კომპონენტები ბუნებრივი ქანების და სინთეზური მასალების მკვეთრად შემოფარგლულ რიცხვს მოიცავს. მინანქრის მიღების სადღეისოდ დამკვიდრებული თერმული რეჟიმი ამ რიცხვში შემავალ კომპონენტთა შორის მაღალტემპერატურულ ურთიერთქმედებათა საკმაოდ დეტალური შესწავლის შედეგია.

კომპოზიციებში ძირითად კომპონენტთა ფუნქციების მატარებელი ყოველი ახალი ინგრედიენტის შეყვანისას მინანქრის თერმული წარსული იცვლება. იმ შემთხვევაში, თუ ახალი კომპონენტი შედგენილობით მარტივია და მის მაღალტემპერატურულ ქცევაზე, ინდივიდუალურად და ტრადიციულ კომპონენტებთან შერწყმაში, სრული ინფორმაცია არსებობს, მინანქრის თერმული წარსულის მისი მიღების პროცესზე გავლენის პროგნოზირება რთულ ამოცანას არ წარმოადგენს.

ვითარება მნიშვნელოვნად რთულდება, თუ ახალი კომპონენტი კომპლექსური ნედლეულია და ბუნებით მრავალმინერალური. ამგვარი ნედლეული ბუნებრივი (ქანები) და ტექნოგენური (ტექნოგენური ნედლეული) წარმომავლობისაა და რამდენიმე ათეულ მინერალს (ნაერთს) შეიცავს. ამ შემთხვევაში მინანქრის მისაღებად გამიზნული კომპოზიციის შეგდენილობისა და მისი თერმული დამუშავების რეჟიმის დადგენის პროგნოზირებისათვის აუცილებელი ხდება მრავალვარიანტული ამოცანის გადაჭრა. პირველ რიგში ეს თერმული დამუშავების სხვადასხვა სტადიაზე ურთიერთქმედებათა სიმრავლიდან ენერგეტიკულად მომგებიანების დადგენის საკითხს ეხება.

ამით აიხსნება კომპლექსური ნედლეულის შემცველი კომპოზიციების ძიების ხანგრძლივი, შრომა- და ენერგოტევადი, ძირითადად ექსპერიმენტული ხასიათი და ის გარემოება, რომ მინანქრის საწარმოო დანერგვა დროში მეტად „გაწელილი“ პროცესია. ეს კი ართულებს მინანქრისა და სხვა მიზნობრივი დანიშნულების პროდუქტის მისაღებად საჭირო სანედლეულო ბაზის ისედაც მძიმე მდგომარეობას. ბუნებრივი კომპლექსური წიაღისეულის მარაგების შემცირებამ და მსოფლიოში

არსებული ეკოლოგიური ვითარების გამძაფრებამ კომპლექსური ნედლეულის, მეტადრე ტექნოგენურის, უსწრაფესი გამოყენების საკითხებს უმნიშვნელოვანესი სოციალური და ეკონომიკური ღირებულება მიანიჭა.

ტრადიციული კომპოზიციების დაპროექტებაში აპრობირებულია თერმოდინამიკის მდიდარი შესაძლებლობების გამოყენება. ამ შესაძლებლობებით ტექნოგენური ნედლეულის შემცველი კომპოზიციების (ტნშკ) მიღებაშიც შეიძლება სარგებლობა, თუ გადაილახება ის სირთულეები, რომლებსაც წარმოქმნის საკვლევი სისტემის მრავალმინერალობა.

წარმოქმნილ სირთულეთა გადასალახავად სტუ-ს მკვლევართა ჯგუფის მიერ შემოთავაზებული იქნა მრავალმინერალურ სისტემებში მიმდინარე მაღალტემპერატურული პროცესების შესწავლისადმი თერმოდინამიკურ-პეტროქიმიური მიდგომა. იგი გულისხმობს ჯიბსის თავისუფალი ენერჯის მინიმიზაციის მეთოდის შერწყმას პეტროქიმიისა და ფაზური წინასწარობის სწავლების ძირითად დებულებებთან ამ სისტემაში მაღალტემპერატურული პროცესების და მათ შედეგად მიღებული პროდუქტების ფაზური შედგენილობის დასადგენად.

სამუშაოს მიზანი. კვლევის ძირითადი მიზნის მისაღწევად გადასატრელი იყო შემდეგი კონკრეტული ამოცანები:

- მინანქრის მშენ-ის შემცველი მრავალმინერალური კომპოზიციების თეორიული პროექტირება მასში შემავალი მინერალების (ნაერთების) გათვალისწინებით;
- თეორიულად დაპროექტებულ მინანქრის კომპოზიციაში თერმული დამუშავებისას შესაძლო ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების დასტის შეფასების საფუძველზე ენერგეტიკულად მომგებიანების დადგენა, მათ შედეგად მიღებული პროდუქტების ფაზური შედგენილობის პროგნოზირება;
- თეორიულად ნავარაუდები მინანქრის კომპოზიციისა და ტემპერატურული ზემოქმედებისას მიმდინარე მოვლენების ექსპერიმენტული შემოწმება როგორც ფრიტის მიღების სტადიაზე, ისე მომინანქრებული ნაკეთობის მიღების სრული ციკლით ლაბორატორიულ პირობებში.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. კვლევის ობიექტი იყო მრავალმინერალური კომპოზიცია, რომელშიც კომპლექსური მშენ ნედლეულთან (ტექნოგენური) და ბაჯითის ადგილმდებარეობის

კვარცმინდვრის შპატური ქვიშა (ბუნებრივი ქანი, ბკმქ), თანაარსებობდნენ სინთეზური მასალები – კრისტალური ბორაკი (CB_x), კალციირებული სოდა (Nc), CoO. კომპოზიციის თეორიული დადგენისას გამომდინარეობით მსოფლიოში ფართოდ მოხმარებადი გრუნტის შედგენილობიდან.

თეორიული პროექტირებისას მივმართავდით პეტროქიმიური გადათვლების საშუალებებს, ხოლო კომპოზიციაში ტემპერატურის ზეგავლენით მიმდინარე მოვლენების შეფასებისადმი გამოყენებულ იქნა თერმოდინამიკურ-პეტროქიმიური მიდგომა რიგი დაზუსტებებით. დაზუსტებები ძირითად თერმოდინამიკურად „უცნობ“ რეაგენტთა და პროდუქტთა ურთიერთქმედებათა შეფასებას შეეხებოდა. ექსპერიმენტული კვლევისას მყარ სხეულთა შესწავლისა და მათი თვისებების დადგენის მეთოდებს ვიყენებდით. რიგ შემთხვევაში თვისებების დადგენისას საანგარიშო მეთოდებითაც ვსარგებლობდით.

სამუშაოს მეცნიერული სიახლე. მეცნიერულ სიახლეთა რიცხვს მიეკუთვნება:

- კომპოზიციის შედგენილობის თეორიული დაპროექტება, რომელიც ითვალისწინებს კომპლექსური ბუნებრივი და ტექნოგენური ნედლეულის არა ოქსიდურ, არამედ მინერალოგიურ შედგენილობას;

- ბორ-სილიკატურ მრავალმინერალურ (მრავალკომპონენტთან) სისტემაში კომპონენტთა შორის მაღალტემპერატურული პროცესების და მათ შედეგად მიღებული პროდუქტების ფაზური შედგენილობის შეფასება, პროცესთა მიმდინარეობისა და ფაზათა წარმოქმნის მიმდევრობის დადგენა;

- უწყლო და წყალშემცველი ბორატების თერმოდინამიკური პარამეტრების სტანდარტული მოლური სიდიდეების საანგარიშო სტრუქტურულ ინგრედიენტთა ადიტიური სისტემის მეთოდის შემოთავაზება-განხორციელება, რომელიც ეფუძნება ბორატების კრისტალოქიმიურ კლასიფიკაციას ბორ-ჟანგბადოვან სამკუთხედთა და ოთხკუთხედთა შერწყმის ხერხებსა და დამატებითი იონების ამ სტრუქტურულ ერთეულებს შორის განლაგების პრინციპებს;

- ორი მინაწარმოქმნელი ოქსიდის სისტემაში არსებობის პირობებში კომპოზიციის შემადგენელთა შორის თვისებრივად ახალი

ტემპერატურების ფართო დიაპაზონში ურთიერთქმედებათა ჯიბისს თავისუფალი ენერჯისა და წონასწორობის კონსტანტის ტემპერატურული დამოკიდებულების მათემატიკური გამოსახულებების დადგენა.

შედგების გამოყენების სფერო. კვლევის შედეგები შეიძლება გამოყენებული იქნას კომპლექსური (ბუნებრივი ქანებისა და ტექნოგენური წარმომავლობის) ნებისმიერი ნედლეულის გამოყენებით სხვადასხვა დანიშნულების მინანქრის (დამფარავის, გრუნტის) მიღების წინასწარ დაპროექტებასა და პრაქტიკული რეალიზაციისათვის შრომის, მასალებისა და ენერჯის და, შესაბამისად, სამუშაოთა ხანგრძლივობის მნიშვნელოვანი შემცირების პირობებში. კვლევის შედეგების გათვალისწინება სასარგებლო უნდა იყოს იმ სპეციალისტებისთვისაც, რომელთა მოღვაწეობა უშუალოდ არის დაკავშირებული მრეწველობის სხვადასხვა დარგის საწარმოთა მყარი ნარჩენების შეფასება-უტილიზაციის საკითხებთან.

კვლევით მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებული იქნას:

- ქიმიური თერმოდინამიკისა და ფაზათა წონასწორობის შესახებ სწავლების სფეროებში მოღვაწე მკვლევართა მიერ, მეტადრე იმ შემთხვევაში, როდესაც კვლევის ობიექტია მრავალმინერალური სისტემები;

- გარემოს საწარმოო მყარი ნარჩენებით დაბინძურებისა და მათი უტილიზაციის რაციონალური გამოყენების საკითხებით დაკავებული სპეციალისტების მიერ, მეტადრე ამ ნარჩენებისადმი ტექნოგენური ნედლეულის ფუნქციების მინიჭების შესახებ გადაწყვეტილების მიღებისას;

- სილიკატური და ძნელდნობადი არალითონური მასალების (მინანქარი, მინა, მინაკერამიკა, ტრადიციული და სპეციალური კერამიკა, მჭიდა მასალები და ა.შ.). ტექნოლოგიის სფეროში დაკავებულ მკვლევართა, ინჟინერთა და ტექნოლოგთა მიერ, მეტადრე საწყისი კომპოზიციების მრავალმინერალურობის შემთხვევაში;

- უმაღლესი განათლების სფეროში (ბაკალავრიატი, მაგისტრატურა, დოქტორანტურა) მოღვაწე პროფესორის მიერ ქიმიური თერმოდინამიკის, ფაზათა წონასწორობის, გარემოს უსაფრთხოებისა და ინჟინერიის, არაორგანული მასალების და ინჟინერიის სხვა დარგების სწავლებისას.

პუბლიკაცია: დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია 4 სტატიაში და 6 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის შრომაში.

სამუშაოს აპრობაცია: დისერტაციის შედეგები წარმოდგენილ იქნა შემდეგ კონფერენციებზე: საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის მე-2 საერთაშორისო კონფერენცია და გამოფენა, თბილისი, 7-10 ოქტომბერი 2009; საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენცია „ინოვაციური ტექნოლოგიები და თანამედროვე მასალები“, ქუთაისი, 17-18 ივნისი 2010; საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება“, თბილისი 2010; Republic Conference of Young Scientists “Chemistry today”, 26th February, 2011; საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ქალი და XXI საუკუნე“, შრომები, თბილისი, 30 ივნისი – 1 ივლისი 2011; აკადემიკოს თ. ლოლაძის ხსოვნისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ინოვაციური ტექნოლოგიები და მასალები“, 24-27 ოქტომბერი 2011.

დისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა. ნაშრომი შედგენა შესავლის, 2 ნაწილის (ლიტერატურული მიმოხილვა, შედეგები და მათი განსჯა), 13 თავის, 8 ქვეთავისა და დასკვნისაგან. ციტირებული ლიტერატურის ნუსხა მოიცავს 140 დასახელებას. ნაშრომის მოცულობა შეადგენს კომპიუტერზე ნაბეჭდ 129 გვერდს, ილუსტრირებულია 20 ნახაზით, 21 ცხრილით, 1 სქემით, 1 სურათით.

ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

1. ლიტერატურის მიმოხილვა

ლიტერატურის მიმოხილვის ნაწილში კრიტიკულად განიხილება საკითხები, რომლებიც დაკავშირებულია მინანქრის, როგორც მინის სახესხვაობის წარმოჩინებასთან (1.1), მინანქრის მსოფლიოში მიღებულ კლასიფიკაციასა (1.2), მინანქრის მიღებაში კომპლექსური ნედლეულის გამოყენებასთან (1.3). ბეჭდვითი და ვირტუალური ინფორმაციის საფუძველზე თემის აქტუალობის დადგენას, კვლევის მიზანისა და გადასატრეული ამოცანების ჩამოყალიბებას 1.4 თავი ეთმობა.

აღინიშნება, რომ მინანქარი თავისი ბუნებით ამორფული მყარი სხეულის (მინის) სახესხვაობაა, რადგან ემორჩილება მინისებური

მდგომარეობის ბუნების ამხსნელ დებულებებსა და კანონზომიერებებს. ძირითადი განსხვავება იმაშია, რომ მინა მრავალი სახის ნაკეთობის დამზადების საწყისი მასალაა და ატარებს ნაკეთობათა თვისებების განმსაზღვრელ ფუნქციას, ხოლო მინანქარი „ლითონი-მინანქარი“ კომპოზიტების ერთ-ერთი კომპონენტია და იგი მხოლოდ ნაწილობრივად არის ამ ფუნქციის მატარებელი, რაც განაპირობებს მინანქრისათვის ჩვეულ თვისებურებებს – იგი შეიძლება ხასიათდებოდეს მინასთან შედარებით მიკრო და მაკრო დონეზე მეტი მოუწესრიგებლობის ხარისხით, გარბილების ინტერვალისა და დაბალტემპერატურებით, ფიზიკური, ქიმიური და ტექნოლოგიური თვისებებისადმი განსხვავებული მოთხოვნილებებით.

საინფორმაციო წყაროებში არსებული მონაცემებით ირკვევა, რომ მინანქართა დაყოფა ფუძე მინანქრებსა (გრუნტებსა) და დამფარავებად დღესაც ძალაშია. გრუნტის ფუნქციები დღესაც უცვლელია. მან კომპოზიტში „ლითონი-მინანქარი“ უნდა შეასრულოს:

- მინისებური ნივთიერების ლითონის ზედაპირთან მჭიდრო შემაკავშირებლის როლი;
- კომპოზიტის გაფართოებისას დამფარავ მინანქარსა და ლითონს შორის შეამავლის როლი;
- დამფარავი მინანქრის ბუფერის როლი.

გრუნტების ასორტიმენტის „სიმდიდრის“ მიუხედავად მათი ოქსიდური შედგენილობა კომპონენტთა შეზღუდული ნაკრებით განისაზღვრება. აღნიშნულმა გარემოებამ მკვლევარები მიიყვანა დასკვნამდე, რომ შესაძლებელია სხვადასხვა დარგში გამოყენებადი მომინანქრებული ნაკეთობისათვის შეიქმნას ფართო მოხმარების გრუნტები. მაგალითად, იმ ნაკეთობებისათვის, რომლებიც გამიზნულია ქიმიურად აგრესიულ გარემოში სამუშაოდ, შემოთავაზებულია გრუნტის კაზმის შემდეგი შედგენილობა: კალციინირებული სოდა 10-35; ბორაკი 10-25; Li_2CO_3 0-5; BaCO_3 0-2; CaCO_3 , MnO , CO ჯამი 8 (მუდმივად).

დამფარავი მინანქრები მეტად, ვიდრე გრუნტისა, შედგენილობის ნაირსახეობით გამოირჩევიან, რაც განპირობებულია მომინანქრებული ნაკეთობების შემდგომი გამოყენების საექსპლუატაციო პირობებით.

საინფორმაციო წყაროებში მრავლადაა მითითება გრუნტისა და დამფარავი მინანქრების მისაღებად კომპლექსური ნედლეულის გამოყენების მრავალმხრივ მიზანშეწონილობაზე. კომპლექსური ნედლეულიდან ყველაზე ხშირად ბუნებრივი და ტექნოგენური წარმომავლობის ქანები გამოიყენება, რის შედეგად მინანქრის კაზმის (კომპოზიციის) შედგენილობა მრავალმინერალური ხდება. მასში, არცთუ იშვიათად 15 და მეტი ბუნებრივი და ხელოვნური მინერალია (ნაერთია), რაც განაპირობებს ამგვარი კომპოზიციის კვლევიდან პრაქტიკულ გამოყენებამდე მიყვანის მეტად ხანგრძლივ დროს, რომ არაფერი ვთქვათ მასალისა და ენერჯის ხარჯის მნიშვნელოვან ზრდაზე.

საინფორმაციო წყაროებში მოყვანილი ინფორმაციის კრიტიკული განხილვის შედეგად გამოტანილ იქნა შემდეგი დასკვნა.

მომინანქრებულ ნაკეთობებზე მზარდი მოთხოვნილების დასაკმაყოფილებლად მკვლევარები ძირითადად მომინანქრების პროცესის გაუმჯობესებასა და მწარმოებლურობის გაზრდასთან დაკავშირებული პრობლემების გადაჭრით არიან დაკავებული. ამ მიმართულებით მრავალი წარმატებული ნაბიჯია გადადგმული, თუმცა ბევრად ნაკლები ყურადღება ექცევა ამ პროცესის ერთ-ერთ შემადგენელ სტადიას – მინანქრის წარმოებას, მეტადრე საწყის კომპოზიციაში კომპლექსური ნედლეულის ერთ-ერთი წარმომადგენლის – ტექნოგენურის შეყვანისას. ამ სფეროში ჯერ კიდევ არ არის ჩამოყალიბებული მინანქრის მიღებისადმი გამიზნული კომპოზიციის თეორიული პროექტირებისა და თერმული დამუშავებისას მიმდინარე ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების და მათ შედეგად მიღებული პროდუქტების ფაზური შედგენილობის პროგნოზირებისადმი მიდგომის პრინციპები, რომლებიც ერთის მხრივ, აფერხებენ მოკლე დროში თვისებრივად ახალი მინანქრების მიღება-გამოყენებას, მეორე მხრივ კი – ამუხ-

რუკებენ მსოფლიოს მრავალ რეგიონში ეკოლოგიური დაძაბულობის მოხსნას.

ამით იყო განპირობებული ჩვენს მიერ დასახული კვლევის ძირითადი მიზანი და მის მისაღწევად გადასატრედი ამოცანები.

2. შედეგები და მათი განსჯა

ნაშრომის მეორე ნაწილი შედეგება ცხრა თავისაგან (2.1-2.9), რომლებშიც განიხილება კვლევის როგორც მეთოდოლოგიური, ისე თეორიულად და ექსპერიმენტულად ჩატარებული ძიების საკითხები და მათ საფუძველზე მიღებული შედეგების განსჯის შინაარსი.

თეორიული კვლევა ეფუძნება ქიმიური თერმოდინამიკის სამივე კანონიდან გამომდინარე ჯიბსის თავისუფალი ენერჯის მინიმიზაციის მეთოდს. მეთოდის რეალიზაციისათვის გამოიყენება ულიხის I (1) და II (2) მიხსლოება, შვარცმან-ტემპინის მიდგომა (3) და კლასიკურად მიხნეული საშუალება (4). თითოეული მათგანის თანმიმდევრობა ეყრდნობა ქიმიურ თერმოდინამიკაში ფართოდ გამოყენებად შემდეგ გამოსახულებებს:

$$\Delta G_{h,T}^0 = \Delta H_{h,298}^0 - T\Delta S_{h,298}^0 \quad (1)$$

$$\Delta G_{h,T}^0 = \Delta H_{h,298}^0 - T\Delta S_{h,298}^0 - T\Delta c_{p,298}^0 \cdot M_0 \quad (2)$$

$$\Delta G_{h,T}^0 = \Delta H_{h,298}^0 - T\Delta S_{h,298}^0 - T(\Delta aM_0 + \Delta bM_1 + \Delta c'M_2) \quad (3)$$

$$\Delta G_{h,T}^0 = \Delta H_{h,T}^0 - T\Delta S_{h,T}^0 \quad (4)$$

სადაც $\Delta G_{h,T}^0$ – რეაქციის ჯიბსის თავისუფალი ენერჯია ნებისმიერ T ტემპერატურაზე; $\Delta H_{h,298}^0$, – რეაქციის სტანდარტული მოლური ენთალპია; $\Delta S_{h,298}^0$ – რეაქციის სტანდარტული მოლური ენტროპია; Δa , Δb , $\Delta c'$ – რეაქციის $\Delta c_p = f(T)$ ფუნქციის კოეფიციენტები; M_0 , M_1 , M_2 – შვარცმან-ტემპინის მიერ გამოთვლილი ტემპერატურული კოეფიციენტები; $\Delta S_{h,T}^0$ – რეაქციის ენთალპია და ენტროპია ნებისმიერ T ტემპერატურაზე.

$$\Delta H_{T,h}^0 = \Delta H_{298,h}^0 + \int_{298}^T \Delta c_p dT ; \Delta S_{T,h}^0 = \Delta S_{298,h}^0 + \int_{298}^T \frac{\Delta c_p}{T} dT$$

რეაქციის სისრულის ხარისხზე ვმსჯელობთ ვანტ-ჰოფის იზოთერმის გამოყენებით: $\ln K_p = -(\Delta G_{n,T}/RT)$, სადაც K_p – წონასწორობის თერმოდინამიკური კონსტანტა, R – აირის უნივერსალური მუდმივა.

მინანქრის რიგი თვისების დასადგენად გამოყენებულ იქნა გოლიუსის მიერ შემოთავაზებული განტოლებები: სიბლანტისათვის $\lg \eta = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + b/T$; ზედაპირული დაჭიმულობისათვის $\sigma \cdot 10^3 = \sum_{i=1}^n a_i x_i + bT + ct^2$, ხაზობრივი თერმული გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტისათვის (ხოგტკ) $\alpha \cdot 10^7 = \sum_{i=1}^n a_i x_i$, სადაც a_0, a_i, b, c – განტოლებათა რეგრესიის კოეფიციენტები, t და T – ტემპერატურები ცელსიუსის და კელვინის სკალით.

პეტროქიმიური ანგარიშების ჩატარების მიზნით პეტროლოგიაში მიღებული გადაანგარიშებების საშუალებები გამოიყენება.

ექსპერიმენტული კვლევა (2.2) შეიცავდა მყარი სხეულების შესასწავლად ფართოდ გამოყენებად დიფერენციალურ-თერმულ ანალიზს (ხელსაწყო Q-1500D), რენტგენოფაზურ ანალიზს (დიფრაქტომეტრი ДРОН-1,5), შთანთქმის ინფრაწითელ სპექტროსკოპიას (“Nicolet” ფირმის “AVATAR-FT-IR” ხელსაწყო), რიგ შემთხვევაში კრისტალოპტიკურ ანალიზს (პოლარიზაციული მიკროსკოპი Labor-Lux 12) ვიყენებთ. შედეგების ანალიზისათვის ვსარგებლობდით სხვადასხვა მინერალის (ნაერთის) დიაგნოსტიკური ცნობარებით, რენტგენომეტრიული განმსაზღვრელებით საერთაშორისო მონაცემთა ბაზებითა და სხვა საცნობარო ლიტერატურით.

მინანქრის მიღებასა და მისი თვისებების შესწავლისათვის გამოიყენება სხვადასხვა სახის თბური დანადგარი (თერმოსტატი, თერმოკარადა, მუფელის ღუმელი, სილიტებიანი ღუმელი), ხოგტკ-ს დასადგენად – დილატომეტრი (ДКВ-4А), სიმკვრივის განსაზღვრისათვის – ჰიდროსტატიკური მეთოდი, მიღებული ნაღნობის ხარისხის შესაფასებლად – ძაფის მეთოდი, დაკრისტალების უნარის დასადგენად – მასიური დაკრისტალების მეთოდი და მრავალი სხვა, რომლითაც სარგებლობენ მინის და მინანქრის კვლევის სფეროში.

2.3 თავი ეძღვნება კვლევაში გამოყენებულ მასალებს (ნედლეულს). მინანქრის მისაღებად გამოიხურა კომპოზიციაში 2 კომპლექსური ნედლეული იყო. ერთ-ერთი მათგანი კომპლექსურ ნედლეულთა ტექნოლოგიების კლასს მიეკუთვნება – ჭიათურის მანგანუმის მადნის გამდიდრების ნარჩენები (მმგნ), ხოლო მეორე – ბუნებრივს, ბაჯითის ადგილმდებარეობის კვარც-მინდვრის შპატური ქვიშა (ბკმქ).

სინთეზურ მასალათა რიცხვს მიეკუთვნება კალციონირებული სოდა, კრისტალური ბორაკი და კობალტის (II) ოქსიდი. თითოეული მათგანი შედგენილობით აკმაყოფილებს მათ მიმართ და მინანქრის სფეროში არსებულ მოთხოვნებს. რაც შეეხება მმგნ-სა და ბკმქ-ს, აღვნიშნავთ, რომ ბკმქ-ს შედგენილობა სრულად შეესაბამება ამგვარი ნედლეულისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს და გამოიყენება კონცერნ „Sisecam“-ის სააქციო საზოგადოება „მინა“-ს ქსნის მინის ქარხანაში. ჩვენ მხოლოდ მისი მინერალოგიური შედგენილობა დავადაგინეთ. მმგნ სტუ-ს ქიმიური დეპარტამენტის მკვლევართა ჯგუფის დაკვირვების ობიექტია 10-ზე მეტი წლის განმავლობაში, რომელშიც წინამდებარე ნაშრომის ავტორიც მონაწილეობდა. დაკვირვებებით დადგინდა მმგნ-ს როგორც ქიმიური, ისე მინერალოგიური შედგენილობა (იხ. ცხრ. 1, 2).

როგორც გაირკვა, ბკმქ-ს შედგენილობაში 83,46 მას% კვარცია და ~15,0 მას% მინდვრის შპატები, დანარჩენი კი რუტილი (0,1 მას%), კალინიტი (0,8 მას%) და გოეთიტი (0,26 მას%), ხოლო მმგნ-ში 22 სხვადასხვა მინერალია.

თავი 2.4 ეთმობა მინანქრის მიღებისადმი გამოიხურული კომპოზიციის თეორიულ პროექტირებას, რომელიც ხორციელდება გარკვეული ოქსიდური შედგენილობის დასაკმაყოფილებლად საჭირო ინგრედიენტების რაობისა და რაოდენობის დადგენით (იხ. ცხრ. 3). საბაზო შედგენილობის სახით გამოიყენება მომინანქრების სფეროში ფართო დანიშნულების გრუნტი.

დადგინდა, რომ კომპოზიცია სულ ხუთ ინდრედიენტს შეიცავს, რომლებიც სინამდილეში 26 ბუნებრივი მინერალისა და ხელოვნური ნაერთისაგან შემდგარ სისტემას წარმოადგენს (ცხრ. 4). მათგან რიგი მინერალის ოდენობა არ აღემატებოდა 1 მას%-ს.

ცხრილი 1. მმნგ-ს მინერალოგიური შედგენილობა

მინერალები	მოლთა რ-ბა	მოლ. მასა	მას.%	მინერალები	მოლთა რ-ბა	მოლ. მასა	მას.%
Ap, აპატიტი	0,0007	1004,644	0,70	Cc, კალციტი	0,0382	100,08	3,82
Ru, რუტილი	0,0037	79,90	0,30	Mc, მაგნეზიტი	0,0325	84,312	2,74
B-S, ბარიტი	0,0052	213,426	1,11	M'c, როდოქროზიტი	0,0336	114,938	3,86
Gtt, გოეთიტი	0,0140	177,684	2,49				
Σ	0,0238		4,60	Σ	0,1043		10,42
Mu, მუსკოვიტი	0,0050	796,60	3,98	Man, მანგანიტი	0,0120	175,876	2,11
Gl, გლაუკოქროიტი	0,0013	844,682	1,10	Psl, პსილომელანი	0,0148	256,00	3,84
Kt, კალინიტი	0,0030	258,132	0,77	Pyr, პიროლუზიტი	0,0045	408,0	1,84
Mt, მონტმორილონიტი	0,0030	360,306	1,08	Wad, მანგანუმის ჰიდროქსიდები	0,0324	209,00	6,78
Gt, გაულაზიტი	0,0030	294,132	0,88	Σ	0,0637		14,52
H, ჰეილანდიტი	0,0030	686,642	2,06	კვარცხემცველი მინერალები			
Σ	0,0183		9,87	Q, კვარცი	0,4425	60,086	26,59
				Op, ოპალი	0,0517	61,00	3,15
უწყლო ალუმინსილიკატები				Σ	0,4942		29,74
Or, ორთოკლაზი	0,0088	556,68	4,90	მექ. მიერთ. H ₂ O	0,0061	18	0,11
Ab, ალბიტი	0,0332	524,456	17,41	სულ მმნგ-ში	0,7827		100,00
An, ანორტიტი	0,0303	278,212	8,43				
Σ	0,0723		30,74				

ცხრილი 2 მმნგ-ისა და ბკმქ-ს ოქსიდური შედგენილობა (მას. %)

ნედლ.	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	BaO	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	CO ₂	H ₂ O	Σ
მმნგ	0,32	0,30	8,50	53,50	10,22	2,50	0,14	0,80	6,90	4,40	1,35	1,36	2,10	0,4	4,59	2,65	100,0
ბკმქ	-	0,10	-	93,89	3,21	0,22	-	-	-	0,05	0,04	1,77	0,54	-	-	0,18	100,00

ცხრილი 3. კომპოზიციის და მისი ოქსიდური შედგენილობა

კომპოზიციაში შემავალი კომპონენტები, მას. ნ.	კომპოზიციისა (მას.ნ.) და მისი ოქსიდური (მას.%) შედგენილობა					Σ_k Σ_a	აქროლადი ინგრედიენტები მას.ნ./100 ფრიტაზე		
	მმზვ	ბკმქ	Na ₂ CO ₃	ბორაკი CBx	CoO		CO ₂	H ₂ O	Na ₂ O, ბორაკი
		43,41	23,69	18,75	47,40	0,90	134,15 მას.ნ.	9,02	23,32
P ₂ O ₅	0,14	-	-	-	-	0,14	მიღებული აღნიშვნები: მმზვ – მანგანუმის მადნის გამდიდრების ნარჩენები; ბკმქ – ბაჯითის ადგილმდებარეობის კვარცმინდვრის შპატური ქვიშა; Nc – კალცინირებული სოდა; CBx – კრისტალური ბორაკი; CoO – კობალტის ჟანგის რეაქტივი (ს.ა.); *შენიშვნა: $\Sigma_k = R+A$ მას.ნ., ხოლო Σ_a წარმოადგენს 100 მინის მასაში შემავალ ოქსიდთა ოდენობის ჯამს (მას.-%); R – ნედლეულთა ჯამი; A – აქროლად ინგრედიენტთა ჯამი		
TiO ₂	0,13	0,02	-	-	-	0,15			
MnO ₂	3,69	-	-	-	-	3,69			
SiO ₂	23,22	22,28	-	-	-	45,50			
Al ₂ O ₃	4,43	0,78	-	-	-	5,21			
Fe ₂ O ₃	1,09	0,05	-	-	-	1,14			
FeO	0,06	-	-	-	-	0,06			
BaO	0,35	-	-	-	-	0,35			
MnO	2,99	-	-	-	-	2,99			
CaO	1,91	0,01	-	-	-	1,92			
MgO	0,59	0,01	-	-	-	0,60			
K ₂ O	0,59	0,43	-	-	-	1,02			
Na ₂ O	0,91	0,03	10,36	7,70	-	19,00			
SO ₃	0,17	-	-	-	-	0,17			
B ₂ O ₃	-	-	-	17,30	-	17,30			
CoO	-	-	-	-	-	0,8			
CO ₂	1,15	-	7,87	-	-	-			
H ₂ O	1,99	0,08	-	21,15	0,1	-			
	ფრიტის მასის ოდ-ბა, მას. %					100,04			

ცხრილი 4. კომპოზიციის მინერალოგიური შედგენილობა (მას. %)

მინერალი (ნაერთი)	შემცვე- ლობა	მინერალი (ნაერთი)	შემცვე- ლობა	მინერალი (ნაერთი)	შემცვე- ლობა	მინერალი (ნაერთი)	შემცვე- ლობა
Ap	0,3	Mt	0,47	Mc	1,19	Q	31,30
Ru	0,15	Gt	0,38	M'c	1,68	Op	1,36
B-S	0,48	H	0,89	Man	0,92	Nc	18,23
Gtt	1,14	Or	4,61	Psl	1,67	Bor	47,4
Mu	1,73	Ab	8,64	Pyr	0,82	CoO	0,90
Gl	0,48	An	3,72	Wad	2,95	Ant	0,06
Kt	0,52	Cc	1,66				

და ერთი შეხედვით, შეიძლება უზუღვებელყოფილი იყოს, თუმცა კი თუ ამ მინერალებს დავაჯგუფებთ წარმომავლობის მიხედვით, შეიძლება მივიდეთ დასკვნამდე, რომ ამგვარი მიდგომა არცთუ მართებულია, Mu, Gl, Kt, Mt, Gt ფენოვან წყალშემცველ სილიკატებს მიეკუთვნებიან და მათი მინანქრის მიღების პროცესზე გავლენის მხედველობაში მიღება არ არის მიზანშეწონილი.

აღნიშნული დასკვნის მართებულობა დგინდება თავ 2.5-ში, რომელშიც მოიყვანება მინანქრის კომპოზიციაში თერმული დამუშავებისას მიმდინარე პროცესების პროგნოზირება-შეფასება. შედგა კომპოზიციაში შემავალი მინერალების შესაძლო ურთიერთქმედებათა დასტა, რომელშიც 150-მდე მყარფაზა რეაქცია შევიდა. დადგინდა, რომ შეფასება მთელ რიგ რეაქციაში მონაწილეთა შესახებ საჭირო მონაცემების არარსებობის გამო შეუძლებელია. ამ სირთულის გადასა-ლახავად მივმართეთ საინფორმაციო წყაროებში არსებულ საანგარიშო მეთოდებს, რომელთა შორის საუკეთესო შედეგები მოგვცა სტუ-ს თანამშრომელთა მიერ სილიკატებისათვის შემოთავაზებულმა სტრუქტურული ინგრედიენტების ადიტიური სისტემის მეთოდმა. მისი არსი შემდეგშია: ნებისმიერი თერმოდინამიკურად უცნობი ნივთიერების საჭირო მონაცემების მოპოვება სილიკატების კრისტალოქიმიური კლასიფიკაციაზე დაყრდნობით უცნობზე მეტი და ნაკლები სტრუქტურული მოწყობის ხარისხის მქონე ნაერთების მონაცემთა მიხედვით ხდება.

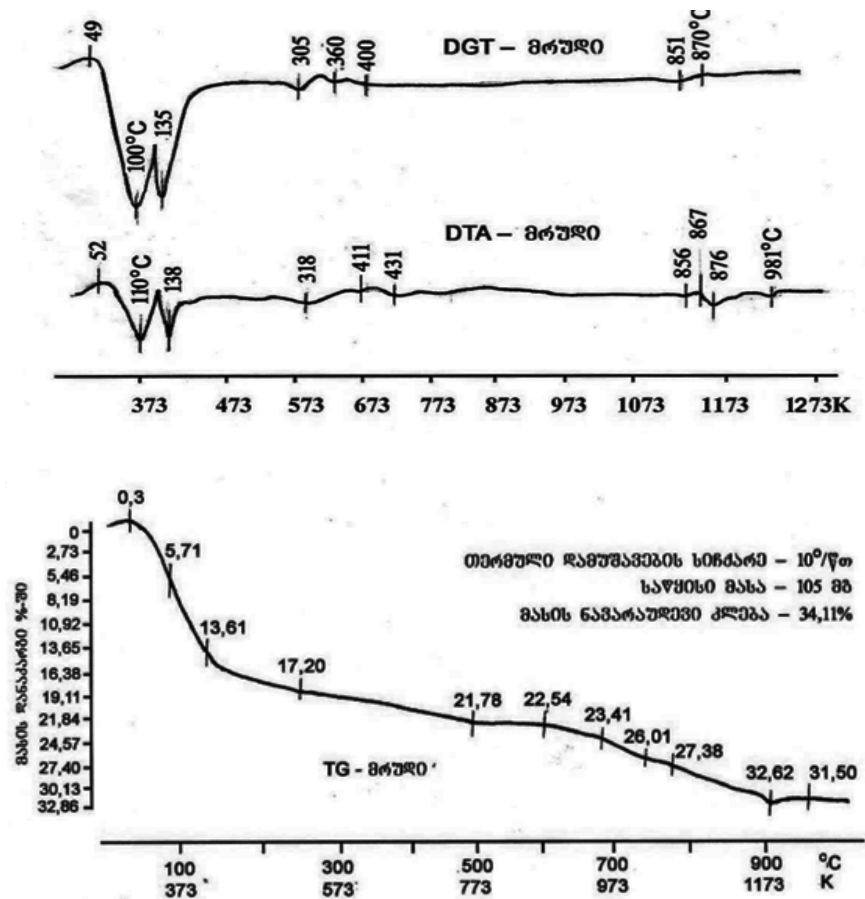
ბორატების კრისტალოქიმიური კლასიფიკაციის საფუძველზე გაირკვა ამა თუ იმ ჯგუფის ნაერთთა შესახებ არსებული თერმოდინამიკურ მონაცემთა ბაზა, რის შედეგად არჩეულ იქნა ბორატ-ეტალონების წრე. მათი გამოყენებით დადგინდა 20-მდე ბორატისა და ბორ-სილიკატის წარმოქმნის სტანდარტული მოლური ენთალპიისა და სტანდარტული მოლური ენტროპიის სიდიდეები.

თავ 2.6-ში, ზემოაღნიშნულის გარდა, წარმოდგენილია მეთოდის განხორციელების თანმიმდევრობა და მიღებულ შედეგთა საიმედოობის ხარისხის შეფასება.

თავ 2.7-ში მოიყვანება მყარფაზა რეაქციების დასტიდან ენერგეტიკულად მომგებიანი ურთიერთქმედებათა ნუსხა, რომელიც განსჯით ჩამოყალიბდა მინანქრის კომპოზიციაში ტემპერატურის ზრდის პირობებში მიმდინარე პროცესებისა და მათ შედეგად მიღებული პროდუქტების ფაზური შედგენილობის შესახებ თეორიული წარმოდგენები. ნავარაუდევია, რომ 573K-ზე ნაკლებ ტემპერატურებზე ძირითადად ბორაკის გარდაქმნებთან დაკავშირებული მოვლენები უნდა განვითარდეს. 573-1123K ინტერვალში კომპოზიციაში მიმდინარე პროცესები სამ ჯგუფად შეიძლება დაიყოს: ტინკალკონიტის, წყალშემცველი ალუმინოსილიკატების, კვარცისა და სოდის დომინანტური მონაწილეობით მყარფაზა რეაქციებში თხევადი ფაზის გარეშე და მისი თანაობისას. 1123-1473K ინტერვალში დომინანტურად უნდა ვითარდებოდნენ მოვლენები დაკავშირებული ადრე წარმოქმნილი ბორატებისა და სილიკატების ურთიერთქმედებებთან, ევტექტიკების წარმოქმნასთან, ნაერთთა დნობასა და ნადნობში ძნელდნობად ნაერთთა გახსნასთან.

თავი 2.8 თეორიულად ნავარაუდევია მოვლენების ექსპერიმენტული მტკიცებულებების მოპოვებისადრე მიძღვნილი. მასში განიხილება თეორიული პროექტირებით მიღებული კომპოზიციის დიფერენციალურ-თერმული ანალიზით (2.8.1) გამოსავალი კომპოზიციისა და მისი სხვადასხვა ტემპერატურულ ინტერვალში დამუშავებით მიღებული პროდუქტების დიფრაქტოგრამებით (2.8.2), კვლევის იგივე ობიექტების შთანთქმის ინფრაწითელი სპექტროსკოპიით (2.8.3) მოპოვებული ინფორმაცია და მისი განსჯა.

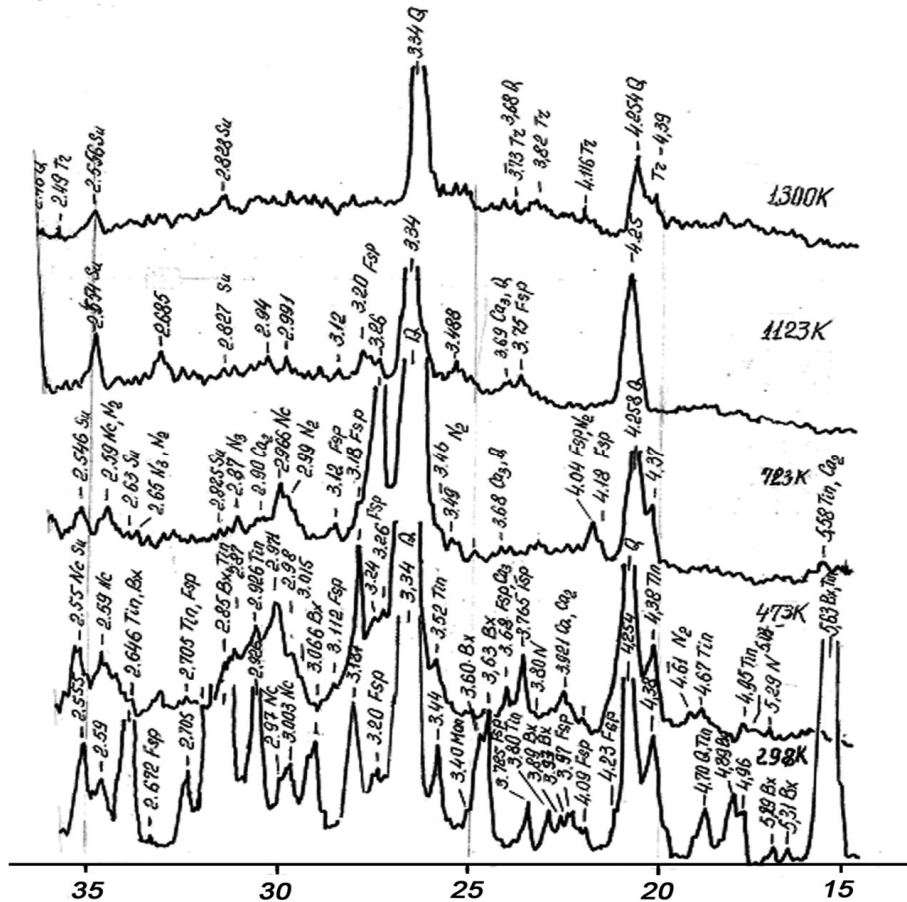
დიფერენციალურ-თერმულმა ანალიზმა (ნახ. 1) დაადგინა 360-418K ინტერვალში მეტად ძლიერი ენდო- (DTA-მრუდი) და მასის კლების (DTG-მრუდი) ეფექტები, რომლებსაც შეესაბამება TG-მრუდზე მასის კლების მნიშვნელოვანი სიდიდე. საინფორმაციო წყაროებზე დაყრდნობით აღნიშნული ექსტრემუმები დამახასიათებელია ბორაკისა და ტინკალკონიტისთვის. ამით გაირკვა, რომ დაბალტემპერატურულ ინტერვალში მიმდინარე პროცესები არა მხოლოდ ბორაკის, როგორც ეს იყო ნავარაუდები, არამედ ტინკალკონიტის გარდაქმნებთანაა დაკავშირებული. ამან განსჯაში შესაბამისი კორექტირების შეტანის აუცილებლობა დაადგინა, თუმცა კი ზოგადად ნავარაუდევ გარდაქმნათა საერთო სურათს ეს ფაქტი არ არღვევს. ამაში გვარწმუნებს TG-მრუდზე მასის თანდათანობით შემცირება ~1173K-მდე, რასაც შესაბამებიან თერმული და მასის კლება-მატების ეფექტები DTA და DTG მრუდებზე.



ნახ. 1. კომპოზიციის TG, DTG და DTA თერმოგრაფიკული მრუდები

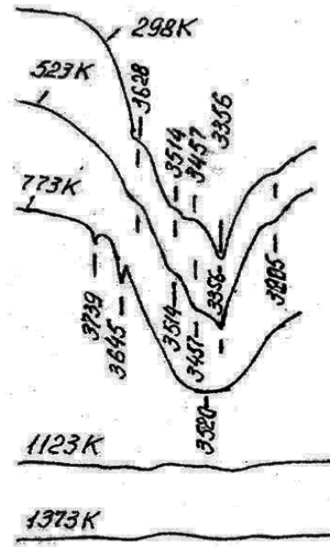
დიფერენციალურ-თერმულმა ანალიზმა კიდევ ერთ, ჩვენი აზრით უმნიშვნელო, შეუსაბამობაზე მიგვითითა – ამა თუ იმ მოვლენის ტემპერატურული ინტერვალების ნავარაუდევთან შედარებით 20-50K-ით ნაკლებ სიდიდეებზე.

სხვადასხვა ტემპერატურებზე მიღებული პროდუქტების დიფრაქტოგრამები თვალნათლივ გვიჩვენებენ, რომ თეორიულად ნავარაუდევო პროცესების შედეგად მიღებული ნაერთებისათვის დამახასიათებელი რეფლექსები საკმაოდ კარგად შეესაბამება დიფრაქტოგრამებზე დაფიქსირებულ d_{hkl} -საზებს (იხ. ნახ. 2, იმის გათვალისწინებით, რომ Bx-ით აღინიშნება ბორაკი, Tin-ით – ტინკალკონიტი, Q-თი – კვარცი, Fsp-ით – მინდვრის შპატები, Man-თი – მანგანიტები, Na-თი – სოდა, Su-თი – სუანიტი, N₂-თი – ნატრიუმის დიბორატი, N₃-ით – ნატრიუმის ჰექსობორატი, Ca₃-ით Ca₃B₂O₆; Ca₂-ით Ca₂B₂O₅; Tr-ით – ტრიდიმიტი).



ნახ. 2. კომპოზიციის სხვადასხვა ტემპერატურაზე დამუშავებული პროდუქტების დიფრაქტოგრამები

შთანთქმის ინფრაწითელი სპექტროსკოპიის მონაცემებიც დამაკმაყოფილებელ შესაბამისობაშია თეორიულად ნავარაუდები პროცესების არსსა და მათ თანმიმდევრობასთან (ნახ. 3).



ნახ. 3. კომპოზიციისა და მისი თერმულად დამუშავებული პროდუქტების იწ სპექტრები (4000-3100სმ⁻¹)

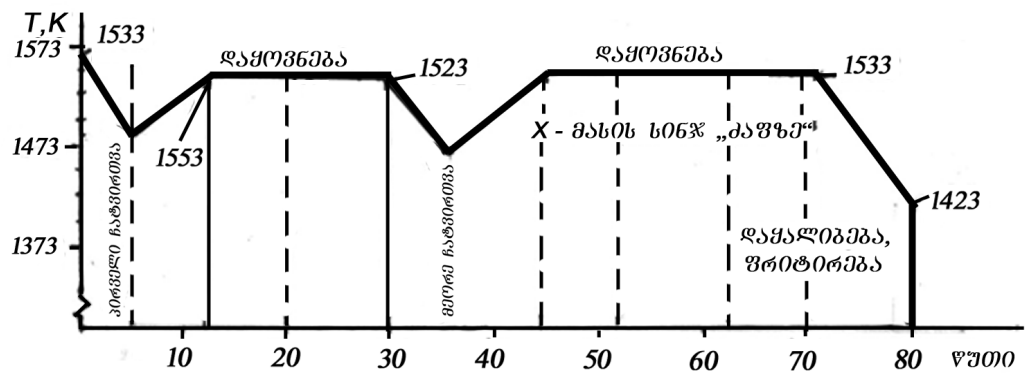
აქ აუცილებელია აღინიშნოს, რომ შთანთქმის სპექტრებით უფრო მეტი ინფორმაცია მიიღება წყალშემცველი ნაერთების არსებობისა და მათი გარდაქმნების შესახებ, ვიდრე წყალშეუცველებისა. გამოწვეულია ეს იმ ვითარებით, რომ სპექტრების 4000-3000 სმ⁻¹ უბანი ნაკლებადაა გადატვირთული შთანთქმის ზოლებით, ვიდრე 1700-450 სმ⁻¹ უბანი, რომელშიც ხშირია ბუნებით სხვადასხვა ნივთიერებებში არსებული ბმების სიხშირეთა დამთხვევა. შთანთქმის სპექტრების 4000-3000 სმ⁻¹ უბანში არსებული ზოლებით დადასტურდა დაბალ ტემპერატურებზე არა მხოლოდ ბორაკის, არამედ ტინკალკონიტის გარდაქმნათა განხორციელების შესაძლებლობა.

2.4-2.8 თავებში მოყვანილი მონაცემების ანალიზით შეიძლება გამოტანილი იყოს შემდეგი დასკვნა – თეორიულად ნავარაუდებმა მოვლენებმა, დაწყებული მინანქრის კომპოზიციის თეორიული პროექტირებით და დამთავრებული მისი თერმული დამუშავებისას მიმდინარე პროცესებისა და მათ შედეგად მიღებული პროდუქტების ფაზური შედგენილობის შეფასებით, ექსპერიმენტული მტკიცებანი ჰპოვა. ამით,

ჩვენი აზრით, დასახული მიზანი მიღწეულ იქნა. მაგრამ მიზანშეწონილად ჩაითვალა მიღებული შედეგები შემოწმებულიყო მომინანქრებული ნაკეთობის მიღების სრული ციკლით, ლაბორატორიულ პირობებში. აღნიშნულის განხილვას თავი 2.9 ეთმობა.

მინანქარი მიღებული იქნა ექსპერიმენტულად დადგენილი თერმული დამუშავების რეჟიმით (ნახ. 4).

მიღებული ნაღობიდან დამზადდა ფრიტა. ამ ფრიტისა და საწისქვილე დანამატებით წყალთან ერთად მომზადებული იქნა შლიკერი, რომელიც ამოვლების ხერხით დატანილი იყო ლითონის ზედაპირზე და თერმულად დამუშავებული. ნაკეთობის ფოტოსურათი სურ. 1-ზეა მოყვანილი, ხოლო თვისებები ცხრ. 5-ში.



ნახ. 4. მინანქრის ხარშვის ტემპერატურული რეჟიმი



სურ. 1. I, II, III დანაფარის ფოტოსურათი

ცხრილი 5. მიღებული გრუნტის რიგი თვისება

თვისებები	თვისებათა მნიშვნელობები
ხარშვის მაქსიმალური ტემპერატურა, T, K	1533
ხარშვის ხანგრძლივობა, სთ	1,3
გამოწვის ხანგრძლივობა, წთ	3-5
გამოწვის ტემპერატურული ინტერვალი, T, K	1033-1123
ხთვტკ, ექსპერიმენტული, $\alpha \cdot 10^{-7}$ (373÷773)·10 ⁷ K ⁻¹	98,5
ხთვტკ, ანგარიშით [103], $\alpha \cdot 10^{-7}$ K ⁻¹	100,05
ქიმიური მედეგობა (ლიმონმჟავას ხსნარის მეთოდი) AA – D კლასები	A-B
დენადობა 1033K-ზე, მმ	65
დენადობა 1073K-ზე, მმ	72
ზედაპირული დაჭიმულობა [103]-ის მიხედვით, მნ/მ	269,60
სიბლანტე [103]-ის მიხედვით 1023-1073K ინტერვალში (პუაზი)	3,9
დაკრისტალებისადმი მიდრეკილება გამოწვის ინტერვალში	პრაქტიკულად არ შეიმჩნევა
საფარის (დანაფარის) სისქე, მმ	0,5-1,2
შეჭიდულობა, ბალები	4-5
შეჭიდულობა, მინანქრის ატკეჩვის ფართობი, %	10-0,8

ცხრილში მოყვანილი თვისებების პრაქტიკაში გამოყენებით მინანქრების თვისებებთან შედარებით დადგინდა შემოთავაზებული მინანქრის უფაო უპირატესობა რიგ მანვენებელთან მიმართებაში. აღსანიშნავია ხარშვის მაქსიმალური ტემპერატურის დაბალი მნიშვნელობა, რომელიც ~50K-ით დაბალია, ვიდრე საყოველთაოდ აღიარებული გრუნტებისა. იშვიათად თუ გვხვდება ისეთი გრუნტები, რომელთა გამოწვის ტემპერატურული ინტერვალი და დენადობა ისეთი აქვს, როგორც შემოთავაზებულს. მთავარი კი ისაა, რომ მინანქრის შლიკერის მომზადება შესაძლებელია შემწონავი ინგრედიენტის მეტად მცირე შემცველობისას ან სულაც მის გარეშე. დანარჩენი მანვენებელი სრულად აკმაყოფილებს გრუნტებისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს.

ამგვარად ირკვევა, რომ თეორიული პროექტირებით მიღებული კომპოზიციით და მასში მიმდინარე პროცესების შეფასება-დადგენით წარმოებული გრუნტი სრულად შეესაბამება რეალობას და აკმაყოფილებს მომინანქრების მთელი ტექნოლოგიური ციკლის მოთხოვნებს.

დასკვნა

ჭიათურის ადგილმდებარეობის მანგანუმის მადნის გამდიდრების ნარჩენების (მმგნ) მაგალითზე მინანქრის მიღების ფიზიკურ-ქიმიური ასპექტების შესწავლის შედეგად შეიძლება დავასკვნათ:

1. მმგნ განეკუთვნება კომპლექსურ ნედლეულთა რიცხვს, რაც გულისხმობს მისი გამოყენებით მიღებულ ნებისმიერ სისტემაში, მათ შორის მინანქრის სინთეზისათვის განკუთვნილ კომპოზიციაში, ტემპერატურის გავლენით მიმდინარე ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების შეფასებისათვის ტრადიციული მიდგომის არასრულყოფილებას.

2. ნაშრომში თეორიულად დაპროექტებული მინანქრის მისაღებად გამიზნულ მრავალმინერალურ სისტემაში მიმდინარე ფიზიკურ-ქიმიური გარდაქმნებისა და მათ შედეგად წარმოქმნილი პროდუქტების ფაზური შედგენილობის პროგნოზირება-შეფასებისათვის გამოყენებული თერმოდინამიკურ-პეტროქიმიური მიდგომით შესაძლებელი გახდა მოვლენათა დაყოფა თერმული დამუშავების ტემპერატურული ინტერვალების მიხედვით.

3. ნავარაუდევია, რომ „მმგნ-კვარცმინდვრის შპატური ქვიშა- Na_2CO_3 -ბორაკი“-ს სისტემაში:

- $>573\text{K}$ -მდე ძირითადად მიმდინარეობენ ბორაკის გარდაქმნებთან დაკავშირებული მოვლენები;
- $573-1123\text{K}$ ინტერვალში მიმდინარე პროცესების პირობითად სამ ჯგუფად დაყოფა შეიძლება: ტინკალკონიტის, წყალშემცველი ალუმინსილიკატებისა და კვარცის დომინანტური მონაწილეობით მყარფაზა რეაქციები თხევადი ფაზის გარეშე და მის თანაობისას;
- $1123-1473\text{K}$ ინტერვალში დომინანტურია მოვლენები, დაკავშირებული სილიკატებისა და ბორატების ურთიერთქმედებებთან, ევტექტიკების წარმოქმნასთან, ნაერთთა დნობასა და ნადნობში ძნელდნობად ნაერთთა გახსნასთან;
- 1573K -ზე კომპოზიცია ამორფული ფაზით წარმოგვიდგება.

4. ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების თერმოდინამიკური შეფასებისას რეაქციაში მონაწილე რიგი ნაერთის საჭირო ფუნქციების არასაიმე-

დობასთან ან არარსებობასთან დაკავშირებული სირთულეები გადალახულ იქნა სტრუქტურული ინგრედიენტების ადიტიური სისტემის მეთოდის გამოყენებით – დადგინდა იქნა 15-მდე უწყლო და 4 წყალშემცველი ბორატის $\Delta H_{f,298}^{\circ}$, $\Delta G_{f,298}^{\circ}$ და $c_{p,298}$.

5. მრავალმინერალურ სისტემაში ტემპერატურის გავლენით თეორიულად ნავარაუდები მოვლენების ექსპერიმენტულად მიღებულ შედეგებთან შედარებამ დაადგინა მათ შორის დამაკმაყოფილებელი შესაბამისობა – რიგი ხარვეზის მიუხედავად, აღნიშნული სისტემის მაღალტემპერატურული ქცევის ზოგადი სურათი არ იცვლება.

6. დადგინდა, რომ მრავალმინერალური სისტემის იწ სპექტროსკოპული შესწავლით თერმული დამუშავების შედეგად წარმოქმნილ პროდუქტებში შემავალ ფაზათა სრულყოფილი იდენტიფიკაცია ვერ ხერხდება. სამაგიეროდ, ამ პროდუქტებში წყალშემცველი ნაერთების გარდაქმნათა შესახებ იწ სპექტროსკოპია მეტად მნიშვნელოვან ინფორმაციას იძლევა.

7. თერმოდინამიკურ-პეტროქიმიური მიდგომით მოპოვებული ინფორმაციის რეალურთან სიახლოვეზე მიგვითითებს არა მხოლოდ თვით მინანქრის მიღების ფაქტი, არამედ მომინანქრებული ნაკეთობის წარმოების სრული ციკლის ლაბორატორიულ პირობებში განხორციელება – მიღებულ იქნა მინანქრის ფრიტა, მის საფუძველზე თვითშეწონადი სუსპენზია და მინანქრის საფარით მოპირკეთებული ნაკეთობა.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში

1. ე. მაცაბერიძე, ნ. რაჭველიშვილი, ა. სარუხანიშვილი, ა. ლომაძე. კომპოზიციის შედგენილობის თვისებრივი გავლენის თერმოდინამიკური შეფასება მინის ხარშვის პროცესის ენერგეტიკაზე. საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის მაცნე, ქიმიის სერია, 2009, ტომი 35, №2, გვ. 193-196.
2. ნ.წ. რაჭველიშვილი, ვ.გ. გორდელაძე, ა.გ. სარუხანიშვილი. მრავალმინერალური კომპოზიციიდან მინანქრის ფრიტის მიღების პროგნოზი.

ზირების საკითხისადმი. საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 2011, ტომი 11, №2, 164-169გვ.

3. А.В. Саруханишвили, Н.Дж. Рачвелишвили, В.Г. Горделадзе. Использование метода аддитивной системы структурных ингредиентов для расчета стандартных мольных значений термодинамических параметров ряда боратов. საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 2011, ტომი 11, №3, გვ. 308-311.
4. ა. სარუხანიშვილი, ვ. გორდელაძე, ნ. რაჭველიშვილი. მულტიმინერალური კომპოზიციის თერმული დამუშავებისას მიმდინარე პროცესების იწ-სპექტრომეტრული შეფასების შესაძლებლობის შესახებ. საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 2011, ტომი 11, №4, გვ. 408-411.

Abstract

Basic components of compositions assigned for the receipt of enamel worldwide contain very limited number of natural rocks and synthetic materials. Thermal mode of enamel's receipt established today is the result of detailed study of high-temperature interactions between components ranked among.

In the process of every new ingredient's insertion, which carries the functions of basic components in the compositions, takes place the change of thermal past of the enamel. Provided that new components are simple according to their content and there is a full information on their high-temperature behavior, both individually and in combination with traditional components, the forecasting of thermal past's effect on the process of its receipt doesn't seem to be difficult.

But the situation drastically changes if new component is the complex raw material and it is multimineral by its nature. Such raw material is of natural (rocks) and technogenic (technogenic raw materials) origin and contains several dozens of minerals (compounds). In this case for forecasting of content of the composition assigned for the receipt of enamel and determination of its thermal processing mode is necessary to accomplish a multivariant task. First of all it refers to the issue of determination of energetically profitable interactions from their variety at the different stages of thermal processing.

This explains the long-term, labor- and energy consuming, basically experimental character of the search of compositions containing complex raw material, as well as the circumstance that industrial introduction of enamel is very "extended" and lengthy process. This fact complicates already the difficult situation in relation to raw materials base necessary for the receipt of enamel and other products of designated purpose. Reduction in natural complex fossil stocks and exacerbation of current ecological situation worldwide assigns very important social and economic priority to the issues of use of complex raw materials, mostly technogenic ones.

The use of great possibilities is tested in designing of traditional compositions. It is possible to use these possibilities in the receipt of technogenic raw materials containing compositions (TRMCC), in case of overcoming those difficulties that are created by multiminerality of researched system.

In order to overcome these problems the thermodynamic-petrochemistry approach to the study of high-temperature processes running in the multimineral

systems has been offered by the group of STU's researchers. It implies the combination of Gibbs free energy minimization method with the fundamental provisions of petrochemistry and phase equilibrium teaching with the purpose of determination of high-temperature processes in this system and of phase composition of products received as a result of them.

Mentioned approach has been used in theoretical designing of TRMCC meant for the receipt of enamel. The role of enamel is played by the multipurpose ground tested worldwide, while the waste of Chiatura manganese ore dressing are used in the role of technogenic raw materials. With the purpose of provision of ground's oxide content traditional raw materials and other materials have been used along with manganese ore dressing waste (MODW). The mixture received by handling of ground's oxide content and composition's mineralogical content contains 26 mineral (compound).

By determination of energetically profitable interactions in the various temperature ranges from the variety of possible interactions between system components of this composition and by establishment of phase composition of products received as a consequence, the nature and sequence of physical and chemical transformations taking place in the process of ground's receipt has been defined. Both the first and the second are significantly differed from the transformations running during ground's receipt from traditional compositions and promote the attainment of less energy consumption for the receipt of enamel.

In the process of assessment of reactions between the components take place difficulties connected with the thermodynamic database existing in the information sources. The value of thermodynamic parameters of a number of substances taking part in reactions either significantly exceeded the acceptable margin (threshold) of errors or didn't exist at all. In order to fill the mentioned gaps the method of additive system of structural ingredients (MASSI), offered for determination of silicates' thermodynamic functions has been used by the STU's researchers. With the use of the principles of this method $\Delta H_{f,298}^0$, $\Delta G_{f,298}^0$ and S_{298}^0 of up to 25 "thermodynamically unknown" silicates, borates and borosilicates have been determined.

With the purpose of verification of theoretically assumed events, including results received by the MASSI, the principle of their comparison with the data acquired by the experimental methods of physical and chemical analysis has been

implemented. This comparison showed satisfactory coincidence between theoretically assumed and experimentally received results.

Validity of offered approach of TRMCC designing meant for the receipt of the ground has been checked by the complete cycle of this product's receipt in laboratory conditions. The complete cycle of ground's receipt consisted of composition preparation, its boiling, receipt of frit and slurry, metal surfacing at the preliminary prepared surface and cover's baking. The verification of the ground's receipt by the complete cycle testified the validity of thermodynamic-petrochemical approach, also found out technologically and economically profitable properties of semi-products received at the particular stages of the cycle: reduction of maximal temperature and duration of enamel's boiling; possibility of self-suspended slurry's receipt, closeness of linear expansion temperature coefficient for the cover and the metal, and close hitching between the ground and the steel.