

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტი

№090-13 საგრანტო პროექტი

პროექტის დასახელება „მხატვრული მინანქარი“

დასკვნითი ანგარიში

პროექტის ხელმძღვანელი,  
პროფ. ა. სარუხანიშვილი

თბილისი 2014

## სარჩევი

წინასიტყვაობა-----	3
1. კონკრეტული დანიშნულების მინანქრის შედგენილობის პროგნოზირების ფიზიკურ-ქიმიური საშუალება-----	4
1.1. საშუალების განხორციელების წინაპირობა-----	4
1.2. საშუალების განხორციელება-----	7
1.3. თეორიულად ნავარაუდები მოვლენების ექსპერიმენტალური შემოწმება----	17
2. მხატვრული მინანქრის მიღება მრავალკომპონენტური კომპლექსური მასალების შემცველი კომპოზიციებიდან -----	19
2.1. კვლევის დაწყების წინა ისტორია-----	19
2.2. მხატვრული მრავალკომპონენტური მინანქრის მოდიფიცირება და ლაბორატორიული გამოცდა-----	22
2.2.1 დახშული მინანქრის მოდიფიცირება-----	22
2.2.2 გამჭვირვალე მინანქრები-----	23
2.2.3 ფერადი დახშული და გამჭვირვალე მინანქრების შეფერვის საკითხები -	24
3. მიღებული შედეგები-----	26
ლიტერატურა-----	27

## წინასიტყვაობა

წინამდებარე ანგარიში შესრულებულია №90 საგრანტო პროექტში მითითებული სამუშაოთა შესრულების თანახმად და შეიცავს სამ ნაწილს.

პირველი ნაწილი ეთმობა მინანქრისა და მომინანქრების ტექნოლოგიაში საწყის კომპოზიციათა დაპროექტებისადმი მიდგომის პრინციპებს, დაფუძნებულს მინაწარმოქმნის სტრუქტურული და კინეტიკური თეორიების ძირითად დებულებებზე. ავტორთა აზრით ამგვარი მიდგომა მკვეთრად შეამცირებს ექსპერიმენტების მოცულობას ტექნოლოგიის დაგეგმარების პირველივე საბაზისო მინანქრის შედგენილობის ძიების სტადიაზე.

მეორე ნაწილი, კომპლექსური ნედლეულის (მასალის) გამოყენებით მრავალკომპონენტური მინანქრული შედგენილობების საფუძველზე შეფერილობის ფართო არეალის მქონე მხატვრული მომინანქრებული ნაკეთობათა მიღებისას, შესწავლილი საკითხების წარმოჩენას ემსახურება.

და ბოლოს, დასკვნით მესამე ნაწილში შემოთავაზებულია „სუფთა“ ექსპერიმენტული კვლევით მიღებული შედეგები. ექსპერიმენტები სტუ-ს მხატვრული მინანქრებისა და მასალების მხატვრული დამუშავების ექსპერიმენტალურ-შემოქმედებით ცენტრშია ჩატარებული, რომელშიც არსებული მოწყობილობა და საშუალებები შეიძლება გაუტოლდეს ნახევრად საწარმოო პირობებს, მეტადრე მხატვრული მინანქრებისა და მომინანქრების სფეროში.

მეტად მწირი დაფინანსების მიუხედავად ვთვლით, რომ შევძელით ისეთი მტკიცებულებების მოპოვება, რომლებიც იძლევიან საშუალებას სრულფასოვნად ჩამოყალიბდეს და ამოქმედდეს ზემოხსენებული ცენტრის ბაზაზე მაღალი მატერიალური და მხატვრული ღირებულების მომინანქრებული ნაკეთობების დამზადების საწარმოო უბანი. ამისათვის აუცილებელია სტუ-ს შესაბამისი ქვედანაყოფების მხარდაჭერა.

1. კონკრეტული დანიშნულების მინანქრის შედგენილობის პროგნოზირების ფიზიკურ-ქიმიური საშუალება.

1.1 საშუალების განხორციელების წინაპირობები.

მინანქრისა და მომინანქრების სფეროში კონკრეტული დანიშნულების მინანქრის ძიების სტადია, როგორც წესი წარმოებს „გასინჯვა-შეცდომა“ პრინციპით. ამ საკითხისადმი ამგვარი მიდგომა ერთის მხრივ, ზრდის კვლევის შრომა, მასალასა და ენერგოტევადობას, მეორეს მხრივ კი კვლევის დანერგვამდე დაყვანის ხანგრძლივობას.

საინფორმაციო წყაროებში მრავლადაა ინფორმაცია იმის შესახებ, თუ როგორ შეიძლება კონკრეტული მინანქრის თვისებების პროგნოზირება [1-3]. მაგრამ მწირია მონაცემები იმის შესახებ, თუ როგორ დადგინდეს სწორედ ამ კონკრეტული მინანქრის შედგენილობა - იმ კომპოზიციის შედგენილობა, რომელსაც შეუძლია მოგვცეს მინისებრი მყარი მასალა გარკვეული ტექნოლოგიური და ფიზიკურ-ქიმიური თვისებებით.

მინანქრის კომპოზიციათა ძიების სფეროში ამგვარი მდგომარეობა საკვირველია, თუ გავითვალისწინებთ უკანასკნელი 50-60 წლებიდან დაწყებული მინაწარმოქმნის არეალში შესრულებულ, მრავალ ფაქტორებზე მიმთითებლად ნაშრომებს, მაგალითად [4-8].

საკმაოდ მკვეთრად იყო ჩამოყალიბებული, რომ მინის წარმოქმნის მიზეზების ახსნისთვის ოპტიმალურია ორი ძირითადი მიდგომა. პირველ მათგანში განიხილება მინისებური მასალის სტრუქტურის რომელიმე თავისებურება - მისი შემადგენელი ატომების გეომეტრიული განლაგება, მათ შორის მოქმედი ბმები და ამ ბმათა სიმტკიცე. მეორე მიდგომა ეფუძვნება სითხის (ნადნობის) დაკრისტალების კინეტიკას დნობის წერტილთა ქვემოთ მდებარე ტემპერატურებისას. ამგვარი მიდგომით მინაწარმოქმნელი მასალა ხასიათდება გაცივების სიჩქარესთან შედარებით მეტად მცირე დაკრისტალების სიჩქარით.

ჩვენი აზრით, მინაწარმოქმნის მიზეზების ასახსნელად ორივე თეორიის ძირითადი დებულებათა შერწყმაა საჭირო. მხოლოდ ამ შემთხვევაშია შესაძლებელი მინაწარმოქმნის ბუნების გაგება. შესაბამისად, იმ კრიტერიუმების ჩამოყალიბება, რომლებიც დაგვეხმარებიან გარკვეული შედგენილობის ნადნობებიდან მინისებური მყარი სხეულის მიღების პროგნოზირების საშუალებათა დადგენაში. მინაწარმოქმნის

სტრუქტურის ფარგლებში (პირველი მიდგომა) საყოველთაოდ აღიარებულად ითვლება არაორგანული მინების შესახებ წარმოდგენები, რომ:

- მარტივ ოქტიდათა ( $A_m O_n$ ) მიმართებაში არსებობს კორელაცია მინაწარმოქმნისადმი მიდრეკილებისა და ჟანგბადის ანიონისა და  $A$ -კათიონის ზომებს შორის (გოლდშმიდტის კრიტერიუმი);
- მინების შემთხვევაში მართებულია კრისტალურ მასალებისთვის დამახასიათებელი ფაქტორები, რომელთა მიხედვით: ჟანგბადის ატომს არ შეუძლია იყოს შეკავშირებული ორზე მეტ  $A$  ატომთან, მისი ოდენობა  $A$  ატომის ირგვლი უნდა იყოს მინიმალური, ჟანგბადის პოლიედრებს უნდა ჰქონდეთ საერთო მხოლოდ წვეროები და არა წიბოები ან წახნაგები, ხოლო სამგანზომილებიან ბადეში როგორც მინიმუმი პოლიედრის სამი წვერო უნდა იყოს საერთო (ზაჰარიასენის კრიტერიუმები);
- მინაწარმოქმნისთვის აუცილებელია ქიმიური ბმათა „შერევა“. რითაც აიხსნება „სუფთა“ კოვალენტური ბმების მქონე ოქსიდებიდან მინისებური მდგომარეობის მიღების შესაძლებლობა, ისევე როგორც შეუძლებლობა - „სუფთა“ იონური ბმების შემთხვევაში (სმეკალის კრიტერიუმი);
- რაც უფრო მტკიცეა ატომთაშორისი ბმები, მით უფრო ნელა მიმდინარეობს ატომთა დაჯგუფება და მით უფრო იოლად მიიღება მინა (სანის კრიტერიუმი);
- თუ დაუკავშირებთ მინაწარმოქმნის ვალენტური ბმების სიმტკიცეს, აუცილებელია იმ თერმული ენერჯის ცოდნაც, რომელიც საჭიროა ბმების გასაწყვეტად. აქედან გამომდინარეობს მარტივი ნივთიერების ან ნაერთის ლიკვიდუსის ტემპერატურის გათვალისწინების აუცილებლობა (როუსონის კრიტერიუმი).

მინაწარმოქმნის კინეტიკური თეორია ემყარება რა დაკრისტალების, როგორც ფენომენის არსის ამხსნელ დებულებებს, განიხილავს ნებისმიერი სითხის (ნადნობის) გაცივებისას მომქმედი ორი ფაქტორის: ჩანასახების წარმოქმნის სიჩქარესა და კრისტალების ზრდის სიჩქარის თანაფარდობებს ტემპერატურის შემცირებისას. აღნიშნულ ფაქტორების ასახსნელად შექმნილია შესაბამისი მოდელები, რომლებსაც აქვთ კონკრეტული მათემატიკური გამოსახულება [9-12].

ამ გამოსახულებებში არის ორი ენერგეტიკული სიდიდე, რომლებსაც შეუძლიათ ახსნან მინაწარმოქმნის მიზეზი. ჩანასახების წარმოქმნის მათემატიკურ მოდელში ეს არის  $(- \Delta G' / RT)$  ექსპონენციალური წევრი, რომელიც განსაზღვრავს ნივთიერების სითხის მაგვარ სტრუქტურიდან კრისტალურისათვის დამახასიათებელ სტრუქტურაში გადასვლის სიჩქარეს. ეს პროცესი შეიცავს მცირე მანძილზე დიფუზიას ან მოლეკულათა გარკვეულ გადაორიენტაციას მკაფიოდ გამოსახულ დაჯგუფებების წარმოქმნით. ტერნბალისა და კოენის მიხედვით  $\Delta G'$  არის ჩანასახების წარმოქმნის კინეტიკური ბარიერი და წარმოადგენს გადაჯგუფების პროცესის აქტივაციის თავისუფალ ენერგიას. შესაბამისად ის განსაზღვრავს ჩანასახების წარმოქმნის სიჩქარეს. ასეთივე ენერგეტიკული ფაქტორი არსებობს კრისტალების ზრდის მათემატიკურ მოდელშიც  $(- \Delta G'' / RT)$ , რომელიც გამოსახავს კრისტალის ზრდისათვის კინეტიკურ ბარიერსა და უკავშირდება ატომთა გადაადგილებას შორი მდგომარეობიდან გამყოფ ზედაპირებისკენ.

სწორედ, რომ ამ ფაქტორების სიდიდეებზეა დამოკიდებული ამ თუ იმ სითხის დაკრისტალებისადმი მიდრეკილება. რაც უფრო „მაღალია“ ენერგეტიკული ბარიერები, მით უფრო მცირეა ეს მიდრეკილება. შესაბამისად, მაღალია მინაწარმოქმნისადმი სითხის (ნადნობის) „განწყობა“\*. გასაგებია, რომ ზოგადი სახით ზემოთ წარმოდგენილი თეორია მინაწარმოქმნის პროცესის აღწერისთვის უსარგებლო იქნებოდა, თუ არ გვექნება სიდიდეთა განსაზღვრის საშუალება.

იმის თქმა, რომ აღნიშნულ სიდიდეთა დადგენა მარტივი საქმეა - არ იქნებოდა მართებული, მეტადრე როდესაც ვიხილავთ რთული შედგენილობის კომპოზიციებს. მინაწარმოქმნის კინეტიკური თეორიის ავტორის მიერ გამოთქმული მოსაზრებები მეტწილად მარტივი ნივთიერებების შემთხვევაში ჰპოვებდა მტკიცებულებებს. მაგალითად,  $SiO_2$  -ის შემთხვევაში კრისტალების ზრდის ენერგეტიკული ბარიერი ([9]-ის მიხედვით) 20RT<sub>დნ</sub>-ზე ნაკლებია, გოგირდსა და სელენში კი აღნიშნულ სიდიდეზე მეტი, თუმცა ორივე შემთხვევაში მინის მიღება შესაძლებელია.

ტერნბალი და კოენი თვლიდნენ, რომ მინაწარმოქმნა მეტადაა შესაძლებელი, როდესაც კრისტალიზაციის პროცესი სტრუქტურის ცვლილებით მიმდინარეობს, ანუ დაკრისტალების პროცესი ითხოვს ძველი ბმების გადაწყვეტასა და ახლების

---

\* აქ მინაწარმოქმნის კინეტიკური და სტრუქტურული თეორიები მხოლოდ გამოტოვებული სახით მოიყვანება. უფრო დაწვრილებით ამ თეორიების გაცნობისათვის გათავაზობთ [4-12]

წარმოქმნას. ასე მიუახლოვდა ერთი მეორეს მინაწარმოქმნის სტრუქტურული და კინეტიკური თეორიები.

ორივე თეორიიდან გამომდინარეობს ერთი, ჩვენთვის მეტად მნიშვნელოვანი დასკვნა - რაც უფრო დაბალია ნივთიერების დნობის ტემპერატურა ბმის ენერგიასთან შედარებით, მით მეტია მინის წარმოქმნის ალბათობა. ვინაიდან  $T_{დნ} = \Delta E_{დნ} / \Delta S_{დნ}$  (სადაც  $T_{დნ}$  არის დნობის ტემპერატურა,  $\Delta E_{დნ}$  და  $\Delta S_{დნ}$  კი დაკრისტალეების ენერგია და ენტროპია), მართებულია ტერნბალისა და კოენის გამონათქვამი - „ნივთიერებათა გარკვეულ კლასში მიდრეკილება მინაწარმოქმნისადმი მით მეტია, რაც უფრო ნაკლებია ბმის ენერგიის მუდმივობისას მოცემული ხარისხის მოუწესრიგებლობის მიღწევებისათვის საჭირო ენერგია“ [10].

ამგვარად, ადრე ხსენებული როუსონის კრიტერიუმი შეიძლება ჩამოყალიბდეს შემდეგი სახით: „მინაწარმოქმნა დამოკიდებულია კრისტალიზაციისას გასაწყვეტი ბმების სიმტკიცეთა ფარდობით მნიშვნელობებზე და მათი გაწყვეტისთვის საჭირო თერმულ ენერგიაზე“ [6].

## 1.2 საშუალების განხორციელება.

1.1 -ში მოყვანილ წინაპირობებს ეფუძვნება ჩვენს მიერ განხორციელებული

$Na_2CO_3 - SrCO_3 - BaCO_3 - H_3BO_3 - SiO_2$  სისტემაში შემავალი კომპოზიციების შესწავლა.

წინაპირობების სახით განიხილებოდა შემდეგი მოთხოვნები:

- პროგნოზული გათვლით კომპოზიციები უნდა იძლეოდნენ ნადნობის გადაცივებისას მიღებულ სასრულ პროდუქტს მინისებრ მდგომარეობაში;
- ნადნობის მიღება უნდა განხორციელდეს რაც შეიძლება დაბალ ტემპერატურაზე;
- გადაციებული ნადნობების დაკრისტალეებისადმი მიდრეკილება, მინისებური მყარი სხეულის ჩვეულ თერმული დამუშავებისას, უნდა იყოს მინიმალური.

ამ პირობის დასაკმაყოფილებლად ოქსიდური სახით გამოსახული, კომპოზიციების გამოსავალ ”ნედლეულად” ხუთკომპონენტთან სისტემაში შემავალი ორ- და სამკომპონენტთან სისტემების დაბალტემპერატურული ინვარიანტული

წერტილები იყო შერჩეული. მათი ძირითადი მახასიათებლები ცხრ.1-შია წარმოდგენილი, ხოლო "ნედლეულთა" შერწყმით მიღებული 60-მდე კომპოზიციიდან 36-ის შედგენილობები -ცხრ.2-ში.

პირველი მოთხოვნის შესასრულებლად ჩვენ მინის თეორიაში კარგად ცნობილი [5] ფაქტორი  $f_{Si}$  გამოვიყენეთ:

$$f_{Si} = \frac{\gamma[SiO_2]}{\gamma[Me_2O] + \gamma[MeO] + 3\gamma[Me_2O_3] + 2\gamma[MeO_2] + 5\gamma[Me_2O_5] + 3\gamma[MeO_3]} \quad (1)$$

სადაც  $\gamma[R_mO_n]$  არის შესაბამისი ოქსიდთა შემცველობა გამოსახული მოლურ წილებსა ან მოლურ პროცენტებში

ცხრილი 1. საკვლევ სისტემაში შემავალი რიგი ინვარიანტული წერტილი [13-16]-ის მიხედვით

№ №	ინვარიანტული წერტილები	დნო- ბის ხასია- თი	ოქსიდური შედგენილობა, მას %				ოქსიდური შედგენილობა, მოლ %, ტემპერატურა				
			SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\frac{SrO}{BaO}$	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$\frac{SrO}{BaO}$	Na <sub>2</sub> O	°C/K
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	$Na_2O \cdot B_2O_3 \cdot 2SiO_2 (NBS_2)$	კონგრ	47,73	27,65	- -	24,4	50,00	25,00	- -	25,00	766/ 1039
2	$Na_2O \cdot B_2O_3 (NB)$	კონგრ	-	52,90	- -	47,10	-	50	- -	50	966/ 1239
3	$Na_2O \cdot 2B_2O_3 (NB_2)$	-	-	69,20	- -	30,89	-	66,65	- -	33,33	743/ 1016
4	$Na_2O \cdot 2SiO_2 (NS_2)$	-	65,94	-	- -	34,04	66,67	-	- -	33,33	874/ 1147
5	$Na_2O \cdot 2SiO_2 + SiO_2 (NS_2 + S)$	ჰბტ.	50,60 + 23,3	-	- -	26,10	51,0 + 23,49	-	- -	25,51	793/ 1066
6	$4Na_2O \cdot 2BaO \cdot 5SiO_2 (N_4B'_2S_5)$	ინ- კონგრ	36,38	-	- 18,18	36,38	51,73	+	- 8,11	40,16	1079/ 1352
7	$BaO \cdot B_2O_3 (B'B)$	კონგრ	-	31,23	- 68,77	-	-	50,00	- 50,00	-	1095/ 1368
8	$BaO \cdot 2B_2O_3 (B'B_2)$	-	-	47,59	- 52,41	-	-	66,67	- 33,33	-	910/ 1183



9	$Na_2O \cdot 2SrO \cdot 3SiO_2 (NS'_2S_3)$	ინ-კონგრ	40,15	-	$\frac{46,07}{-}$	13,78	59,05	-	$\frac{33,33}{-}$	16,65	1200/ 1473
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	$SrO \cdot B_2O_3 (S'B)$	კონგრ	-	40,19	$\frac{59,81}{-}$	-	-	50,00	$\frac{50,00}{-}$	-	1155/ 1428
11	$SrO \cdot 2B_2O_3 (S'B_2)$	-	-	57,33	$\frac{42,67}{-}$	-	-	66,67	$\frac{33,4}{-}$	-	997/ 1270
12	$Na_2O \cdot 2BaO \cdot 2SiO_2 (N_4B'_2S_2)$	-	24,58	-	$\frac{-}{62,74}$	12,68	40,00	-	$\frac{-}{40,00}$	20	1324/ 1597
13	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 (S'B'S_2)$	-	31,86	-	$\frac{27,48}{40,66}$	-	50,00	-	$\frac{25,00}{25,00}$	-	1460/ 1733
14	$3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 (B'_3B_3S_2)$	-	15,23	26,46	$\frac{-}{58,31}$	-	25,00	37,50	$\frac{-}{37,5}$	-	1009/ 1282
15	$SrO \cdot 2BaO \cdot 3SiO_2 (S'B_2S_3)$	კონგრ	30,52	-	$\frac{17,55}{51,93}$	-	49,99	-	$\frac{16,67}{-33,34}$	-	1470/ 1743
16	$Na_2O \cdot SiO_2 (NS)$	კონგრ	49,21	-	$\frac{-}{-}$	50,79	50	-	$\frac{-}{-}$	50	1089/ 1762

შემოკლებული აღნიშვნები: კონგრ. - კონგრუენტული; ინკონგრ. - ინკონგრუენტული; ევტ. - ევტექტიკა.

ჩვენს შემთხვევაში გამოსახულება (1) შემდეგ სახეს ღებულობს:

$$f_{Si} = \frac{\gamma[SiO_2]}{\gamma[Na_2O] + \gamma[SrO] + \gamma[BaO] + 3[B_2O_3] + 2\gamma[SiO_2]} \quad (2)$$

აღნიშნული გამოსახულებები საკმაო სიზუსტით აღწერს მინაწარმოქმნის შესაძლებლობას ერთი აუცილებელი მოთხოვნის შესრულების შემთხვევაში -  $B_2O_3$  - ის შემცველობა არ უნდა აღემატებოდეს 1 მოლ %-ს.

ეს მოთხოვნა დაკავშირებულია იმ გარემოებასთან, რომ  $B$  -ს ატომს გარემოცვაში შეუძლია შეცვალოს ჟანგბადის რაოდენობა (შეცვალოს საკოორდინაციო რიცხვი), რასაც მოყვება მინაწარმოქმნაში შესაბამისი ოქსიდის ფუნქციის შეცვლა. იმ შემთხვევაში, როდესაც კომპოზიციაში მხოლოდ ბორის ოქსიდია,  $B_2O_3$  ძირითადად სამკოორდინირებულია ( $[BO_{3/2}]$ ). როგორც კი კომპოზიციაში ჩნდება რომელიმე ოქსიდი იონური ბმით,  $B_2O_3$  -ის გარკვეული ნაწილი გადადის ოთხკოორდინირებულ მდგომარეობაში ( $[B^-O_{4/2}]$ ), რომელსაც შეუძლია მიიღოს მონაწილეობა კაჟბადჟანგბადიანი კარკასის წარმოქმნაში.

ბორსილიკატურ მინაში  $[BO_{4/2}]$ -ს შეუძლია ჩაენაცვლოს  $[SiO_{4/2}]$  ტეტრაედრებს და თუ ამ ტეტრაედრების ოდენობა არ შეესაბამება მინის წარმოქმნისათვის საჭირო  $f_{Si}$ -ის გარკვეულ სიდიდეს (0,333), ამ ჩანაცვლებს შეუძლია შეძინოს კონკრეტული შედგენილობის კომპოზიციას მინაწარმოქმნისადმი უნარი.

ამ გარემოების გათვალისწინების მიზნით გამოყენებულ იქნა გან-ფუ-სი-ს მიერ შემოთავაზებული გამოსახულებ [17]:

$$\Psi = \frac{(Na_2O + K_2O + BaO) + 0,7(CaO + SrO + CdO + PbO) + 0,3(Li_2O + MgO + ZnO) - Al_2O_3}{B_2O_3} \quad (3)$$

რომელიც იძლევა საშუალებას დავადგინოთ ამა თუ იმ ოქსიდ-მოდიფიკატორის  $B$  - ის მიერ საკოორდინაციო მოწყობაზე გავლენა. გამოსახულებაში (3) მაქსიმალური აქტიურობით  $[B^-O_{4/2}]$  წარმოქმნისადმი იჩენენ პირველ მრგვალ ფრჩხილებში მოთავსებული ოქსიდები, 0,7-ით აღინიშნება მეორე ფრჩხილებში მოთავსებული ოქსიდების აქტიურობა, ხოლო 0,3-ით - მესამეში.

$$\text{ჩვენს შემთხვევაში } \Psi = \frac{(Na_2O + BaO) + 0,7SrO}{B_2O_3} \quad (4)$$

კვლავ ავღნიშნავთ, რომ ოქსიდთა ფორმულები გამოსახვენ შესაბამის ოქსიდთა რაოდენობას მინაში, მოლურ წილებსა ან მოლურ პროცენტებში.

(3) და (4) გამოსახულებებს, როგორც წესი, მინის ამა თუ იმ თვისების საანგარიშო მეთოდით დადგენისას იყენებენ. ჩვენ მათ მინაწარმოქმნისადმი კომპოზიციის მიდრეკილების შესაფასებლად ვიყენებთ, რაც შემდეგ მოსაზრებებს ემყარება.

ვინაიდან  $[B^-O_{4/2}]$ -ს შეუძლია მიიღოს მონაწილეობა მინაწარმოქმნაში და ამით მიანიჭოს კონკრეტულ კომპოზიციას სივრცეში მინაწარმოქმნისადმი საკმარისი ბორკაჟბადჯანგბადიანი კარკასის ფორმირების უნარი, საჭიროა დადგინდეს ბორკაჟბადიანი ტეტრაედრების ოდენობა თითოეულ საკვლევ ობიექტში. ამისათვის კი აუცილებელია საკვლევ ობიექტში ჟანგბადის "შემტანი" ოქსიდთა ბორის სტრუქტურულ მოწყობაზე გავლენის ცოდნა. ჩვენი აზრით, სწორედ რომ აქ, შეიძლება მე-4 გამოსახულების გამოყენება თუ ჩამოყალიბდება გარკვეული მიდგომა  $\Psi$  -ფაქტორსა და  $[B^-O_{4/2}]$  ტეტრაედრებს შორის დამოკიდებულებაზე.

ცხრილი 2. საკვლევ კომპოზიციების შედგენილობა ( $SiO_2 - B_2O_3 - SrO - BaO - Na_2O$  სისტემა)

№	კომპოზიციები	კომპოზიციების თანაფარდობა		
		კომპოზიციებში შემავალი ინგრედიენტების ოდენობა, მას %		
1	2	3	4	5
1	$4Na_2O \cdot 2BaO \cdot 5SiO_2 + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2$	20	60	20
2	$4Na_2O \cdot 2BaO \cdot 5SiO_2 + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2$	40	20	40
3	$4Na_2O \cdot 2BaO \cdot 5SiO_2 + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot 2B_2O_3$	30	20	50
4	$4Na_2O \cdot 2BaO \cdot 5SiO_2 + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot 2B_2O_3$	40	30	30
5	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2B_2O_3$	30	30	40
6	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2B_2O_3$	40	30	30
7	$Na_2O \cdot 2B_2O_3 + Na_2O \cdot 2SrO \cdot 3SiO_2 + 4Na_2O \cdot 2BaO \cdot 5SiO_2$	30	40	30

ცხრილი 2-ის გაგრძელება

1	2	3	4	5
8	$Na_2O \cdot 2B_2O_3 + Na_2O \cdot 2SrO \cdot 3SiO_2 + 4Na_2O \cdot 2BaO \cdot 5SiO_2$	20	40	40
9	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + BaO \cdot 2B_2O_3$	30	30	40
10	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + BaO \cdot 2B_2O_3$	40	40	20
11	$Na_2O \cdot 2BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2B_2O_3 + SrO \cdot B_2O_3$	60	20	20
12	$Na_2O \cdot 2BaO \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot 2B_2O_3 + Na_2O \cdot 2SiO_2$	40	30	30
13	$Na_2O \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot B_2O_3 + BaO \cdot B_2O_3 + SrO \cdot B_2O_3$	70	10	10
14	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2B_2O_3$	40	30	30
15	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2B_2O_3$	50	30	20
16	$SrO \cdot 2BaO \cdot 3SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2B_2O_3$	40	30	30
17	$[(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + SrO \cdot 2B_2O_3 + BaO \cdot 2B_2O_3$	60	20	20
18	$[(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + SrO \cdot B_2O_3 + BaO \cdot 2B_2O_3$	60	20	20
19	$[(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + SrO \cdot B_2O_3 + BaO \cdot B_2O_3$	60	10	30
20	$Na_2O \cdot 2BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot 2B_2O_3$	60	20	20
21	$[(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	60	30	10
22	$[(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	50	40	10
23	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + BaO \cdot 2B_2O_3$	30	30	40
24	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + BaO \cdot 2B_2O_3$	40	40	20
25	$3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	50	25	25
26	$3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	70	20	10
27	$3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	30	60	10
28	$3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	50	40	10
29	$3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	40	50	10
30	$3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	45	45	10
31	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2$	30	20	50
32	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2$	35	20	45
33	$Na_2O \cdot 2BaO \cdot 2SiO_2 + [(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + SrO \cdot 2B_2O_3$	60	20	20
34	$Na_2O \cdot 2BaO \cdot 2SiO_2 + [(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + SrO \cdot B_2O_3$	60	20	20
35	$Na_2O \cdot 2SrO \cdot 3SiO_2 + [(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + BaO \cdot B_2O_3$	20	40	40
36	$Na_2O \cdot 2SrO \cdot 3SiO_2 + [(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + BaO \cdot 2B_2O_3$	20	40	40

ცხრილი 2'. საკვლევი კომპოზიციების შედგენილობა ( $SiO_2 - B_2O_3 - SrO - BaO - Na_2O$  სისტემა)

№	კომპოზიციები	კომპოზიციების შედგენილობა მას %-ში				
		$Na_2O$	$SrO$	$BaO$	$B_2O_3$	$SiO_2$
1	2	3	4	5	6	7
1	$4Na_2O \cdot 2BaO \cdot 5SiO_2 + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2$	7,28	5,50	46,75	15,88	24,59
2	$4Na_2O \cdot 2BaO \cdot 5SiO_2 + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2$	14,56	11,00	27,92	12,57	33,95
3	$4Na_2O \cdot 2BaO \cdot 5SiO_2 + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2$	10,91	21,34	17,11	33,95	16,69

ცხრილი 2-ის გაგრძელება

1	2	3	4	5	6	7
4	$4Na_2O \cdot 2BaO \cdot 5SiO_2 + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot BaO \cdot 2SiO$	14,55	12,80	24,76	25,14	22,75
5	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2B_2O_3$	18,32	8,24	24,20	27,68	21,56
6	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2B_2O_3$	15,24	11,0	28,26	20,76	24,74
7	$Na_2O \cdot 2B_2O_3 + Na_2O \cdot 2SrO \cdot 3SiO_2 + 4Na_2O \cdot 2BaO \cdot 5Si_2O_2$	25,66	18,43	5,45	20,76	29,70
8	$Na_2O \cdot 2B_2O_3 + Na_2O \cdot 2SrO \cdot 3SiO_2 + 4Na_2O \cdot 2BaO \cdot 5Si_2O_2$	26,22	18,43	7,27	13,84	34,24
9	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + BaO \cdot 2B_2O_3$	10,21	8,24	33,16	19,04	29,35
10	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + BaO \cdot 2B_2O_3$	13,62	10,99	26,74	9,52	39,13
11	$Na_2O \cdot 2BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2B_2O_3 + SrO \cdot B_2O_3$	18,16	8,53	24,00	25,31	24,00
12	$Na_2O \cdot 2BaO \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot 2B_2O_3 + Na_2O \cdot 2SiO_2$	18,21	12,80	16,00	17,20	35,79
13	$Na_2O \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot B_2O_3 + BaO \cdot B_2O_3 + SrO \cdot B_2O_3$	26,27	5,98	6,88	12,43	48,44
14	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2B_2O_3$	19,45	10,99	16,26	20,76	32,54
15	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2B_2O_3$	16,37	13,74	20,33	13,84	35,72
16	$SrO \cdot 2BaO \cdot 3SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2B_2O_3$	19,45	7,02	20,77	20,76	32,00
17	$[(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + SrO \cdot 2B_2O_3 + BaO \cdot 2B_2O_3$	15,66	8,53	10,48	20,99	44,34
18	$[(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + SrO \cdot B_2O_3 + BaO \cdot 2B_2O_3$	15,66	11,96	10,48	17,56	44,34
19	$[(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + SrO \cdot B_2O_3 + BaO \cdot B_2O_3$	15,66	5,98	20,61	13,41	44,34
20	$Na_2O \cdot 2BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot 2B_2O_3$	18,81	8,53	24,00	11,47	37,19
21	$[(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	15,66	5,98	17,49	11,96	48,91
22	$[(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	13,05	5,98	23,32	14,60	43,04
23	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + BaO \cdot 2B_2O_3$	10,21	8,24	33,16	19,04	29,35
24	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + BaO \cdot 2B_2O_3$	13,62	10,99	26,74	9,52	39,12
25	$3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	8,51	14,95	29,16	23,28	24,11
26	$3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	6,81	5,98	40,82	22,54	23,85
27	$3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	20,42	5,98	17,49	11,96	44,15
28	$3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	13,62	5,98	29,16	17,25	34,00
29	$3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	17,02	5,98	23,32	14,60	39,07
30	$3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	15,32	5,98	26,24	15,93	36,53
31	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2$	17,02	8,24	23,86	5,29	45,59
32	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2$	15,32	9,62	25,89	5,29	43,88
33	$Na_2O \cdot 2BaO \cdot 2SiO_2 + [(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + SrO \cdot 2B_2O_3$	16,66	8,53	24,00	11,47	39,34
34	$Na_2O \cdot 2BaO \cdot 2SiO_2 + [(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + SrO \cdot B_2O_3$	16,66	11,96	24,00	8,04	39,34
35	$Na_2O \cdot 2SrO \cdot 3SiO_2 + [(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + BaO \cdot B_2O_3$	12,08	9,21	27,51	12,49	38,71
36	$Na_2O \cdot 2SrO \cdot 3SiO_2 + [(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + BaO \cdot 2B_2O_3$	12,08	9,21	20,06	19,04	38,71

ცხრილი 2<sup>ა</sup>. საკვლევი კომპოზიციების შედგენილობა ( $SiO_2 - B_2O_3 - SrO - BaO - Na_2O$  სისტემა)

№	კომპოზიციები	კომპოზიციების შედგენილობა მოლ %-ში				
		$Na_2O$	$SrO$	$BaO$	$B_2O_3$	$SiO_2$
1	$4Na_2O \cdot 2BaO \cdot 5SiO_2 + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2$	10,56	4,77	27,40	20,50	36,77
2	$4Na_2O \cdot 2BaO \cdot 5SiO_2 + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2$	18,51	8,37	14,35	14,23	44,53
3	$4Na_2O \cdot 2BaO \cdot 5SiO_2 + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2$	11,37	32,00	7,21	31,49	17,94
4	$4Na_2O \cdot 2BaO \cdot 5SiO_2 + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot BaO \cdot 2SiO$	18,64	9,81	12,82	28,67	30,06
5	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2B_2O_3$	22,93	6,17	12,24	30,84	27,83
6	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2B_2O_3$	19,78	8,52	14,78	23,93	33,03
7	$Na_2O \cdot 2B_2O_3 + Na_2O \cdot 2SrO \cdot 3SiO_2 + 4Na_2O \cdot 2BaO \cdot 5Si_2O_2$	29,16	12,53	2,50	21,00	34,81
8	$Na_2O \cdot 2B_2O_3 + Na_2O \cdot 2SrO \cdot 3SiO_2 + 4Na_2O \cdot 2BaO \cdot 5Si_2O_2$	29,85	12,56	3,35	14,03	40,21
9	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + BaO \cdot 2B_2O_3$	13,47	6,50	17,69	22,37	39,96
10	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + BaO \cdot 2B_2O_3$	16,91	8,25	13,56	10,63	50,64
11	$Na_2O \cdot 2BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2B_2O_3 + SrO \cdot B_2O_3$	22,68	6,36	12,08	28,08	30,84
12	$Na_2O \cdot 2BaO \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot 2B_2O_3 + Na_2O \cdot 2SiO_2$	21,53	9,05	7,65	18,11	43,65
13	$Na_2O \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot B_2O_3 + BaO \cdot B_2O_3 + SrO \cdot B_2O_3$	28,05	3,82	2,97	11,81	53,35
14	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2B_2O_3$	22,98	7,77	7,76	21,83	39,66
15	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2B_2O_3$	19,97	10,03	10,03	15,03	44,95
16	$SrO \cdot 2BaO \cdot 3SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2B_2O_3$	23,28	5,03	10,05	22,12	39,51
17	$[(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + SrO \cdot 2B_2O_3 + BaO \cdot 2B_2O_3$	17,52	5,70	4,73	20,90	51,15
18	$[(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + SrO \cdot B_2O_3 + BaO \cdot 2B_2O_3$	17,71	8,10	4,79	17,68	51,73
19	$[(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + SrO \cdot B_2O_3 + BaO \cdot B_2O_3$	18,37	4,20	9,77	14,00	53,65
20	$Na_2O \cdot 2BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot 2B_2O_3$	22,89	6,21	11,80	12,43	46,67
21	$[(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	17,92	4,09	8,09	12,18	57,72
22	$[(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	15,64	4,29	11,30	15,57	53,20
23	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + BaO \cdot 2B_2O_3$	13,47	5,50	17,69	22,37	39,96
24	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + BaO \cdot 2B_2O_3$	17,65	8,52	14,01	4,53	52,30
25	$3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	11,37	11,94	15,75	27,70	33,24
26	$3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	9,52	5,00	23,06	28,05	34,38
27	$3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	23,40	4,10	8,10	12,20	52,19
28	$3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	17,15	4,50	14,85	19,34	44,15
28	$3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	20,44	4,29	11,27	15,61	48,39
30	$3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2 + SrO \cdot B_2O_3$	18,83	4,40	13,03	17,43	46,31
31	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2$	20,43	5,91	11,57	5,65	56,44
32	$SrO \cdot BaO \cdot 2SiO_2 + 3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2SiO_2 + Na_2O \cdot 2SiO_2$	18,80	7,06	12,84	5,78	55,58
33	$Na_2O \cdot 2BaO \cdot 2SiO_2 + [(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + SrO \cdot 2B_2O_3$	20,25	6,20	11,79	12,42	49,33
34	$Na_2O \cdot 2BaO \cdot 2SiO_2 + [(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + SrO \cdot B_2O_3$	20,50	8,80	11,94	8,81	49,94
35	$Na_2O \cdot 2SrO \cdot 3SiO_2 + [(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + BaO \cdot B_2O_3$	15,15	6,91	13,94	13,94	50,06
36	$Na_2O \cdot 2SrO \cdot 3SiO_2 + [(Na_2O \cdot 2SiO_2) + SiO_2] + BaO \cdot 2B_2O_3$	14,56	6,64	10,22	20,44	48,14

ცხრილი 3. საკვლევი კომპოზიციების ნარევთა შედგენილობა

№	კომპოზიცია	კომპონენტების თანაფარდობა, მას %			კომპოზიციის ოქსიდური შედგენილობა, მას %				
					კომპოზიციის ოქსიდური შედგენილობა, მოლ %				
					$Na_2O$	$SrO$	$BaO$	$B_2O_3$	$SiO_2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
კ.5	$S'B'S_2 + NB'_2S_2 + NB_2$	30	30	40	18,32	8,24	24,20	27,68	21,56
					22,93	6,17	12,24	30,84	27,56
კ.6	$S'B'S_2 + NB_2S_2 + NB_2$	40	30	30	15,24	11,00	28,26	20,76	24,74
					19,78	8,52	14,78	23,93	33,03
კ.9	$S'B'S_2 + NS_2 + B'B_2$	30	30	40	10,81	8,24	33,16	19,04	29,35
					13,47	6,50	17,69	22,37	39,96
კ.10	$S'B'S_2 + NS_2 + B'B_2$	40	40	20	13,62	10,99	26,74	9,52	39,13
					16,91	8,25	13,56	10,63	50,64
კ.11	$NB'_2S_2 + NB_2 + S'B$	60	20	20	18,16	8,53	24,00	25,31	24,00
					22,68	6,36	12,08	28,08	30,84
კ.12	$NB'_2S_2 + S'B_2 + NS_2$	40	30	30	18,21	12,80	16,00	17,20	35,79
					21,53	9,05	7,65	18,11	43,65
კ.14	$S'B'S_2 + NS_2 + NB_2$	40	30	30	19,45	10,99	16,26	20,76	32,54
					22,98	7,77	7,76	21,83	39,60
კ.15	$S'B'S_2 + NS_2 + NB_2$	50	30	20	16,37	13,74	20,33	13,84	38,54
					19,97	10,03	10,03	15,03	44,95
კ.17	$(NS_2 + S) + S'B_2 + B'B_2$	60	20	20	15,66	8,53	10,48	20,99	44,34
					17,52	5,70	4,73	20,90	51,15
კ.18	$(NS_2 + S) + S'B + B'B_2$	60	20	20	15,66	11,96	10,48	17,56	44,34
					17,71	8,10	4,79	17,68	51,73
კ.19	$(NS_2 + S) + S'B + B'B$	60	10	30	15,66	5,98	20,61	13,41	44,34
					18,37	4,20	9,77	14,00	53,65
კ.20	$NB'_2S_2 + NS_2 + S'B_2$	60	20	20	18,81	8,53	24,00	11,47	37,19
					22,89	6,21	11,80	12,43	46,67
კ.21	$(NS_2 + S) + B'_3B_3S_2 + SrB$	60	30	10	15,66	5,98	17,49	11,96	48,91
					17,92	4,09	8,09	12,18	57,72
კ.22	$(NS_2 + S) + B'_3B_3S_2 + SrB$	50	40	10	13,05	5,98	23,32	14,60	43,04
					15,64	4,29	11,30	15,57	53,20
კ.23	$S'B'S_2 + NS_2 + B'B_2$	30	30	40	10,21	8,24	33,16	19,04	29,35
					13,47	6,50	17,69	22,37	39,96
კ.24	$S'B'S_2 + NS_2 + B'B_2$	40	40	20	13,62	10,99	26,74	9,52	39,12
					17,65	8,52	14,01	7,53	52,30
კ.25	$B'_3B_3S_2 + NS_2 + S'B_2$	50	25	25	8,51	14,95	15,75	27,70	33,24
					11,37	11,94	40,82	22,54	23,85
კ.26	$B'_3B_3S_2 + NS_2 + S'B_2$	70	20	10	6,81	5,98	40,82	22,54	23,85
					9,52	5,00	23,06	28,05	34,38
კ.27	$B'_3B_3S_2 + NS_2 + S'B_2$	30	60	10	20,42	5,98	17,49	11,96	44,15
					23,40	4,10	8,10	12,20	52,19
კ.28	$B'_3B_3S_2 + NS + S'B$	50	40	10	13,62	5,98	29,16	17,25	34,00
					17,15	4,50	14,85	19,34	44,15
კ.29	$B'_3B_3S_2 + NS_2 + S'B_2$	40	50	10	17,02	5,98	23,32	14,60	39,07
					20,44	4,29	11,27	15,61	48,39
კ.30	$B'_3B_3S_2 + NS_2 + S'B$	45	45	10	15,32	5,98	26,24	15,93	36,53
					18,83	4,40	13,03	17,43	46,31
კ.31	$S' B' S_2 + B'_3B_3S_2 + NS_2$	30	20	50	17,02	8,24	23,86	5,29	45,59
					20,43	5,91	11,57	5,65	56,44

ცხრილი 3-ის გაგრძელება

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
კ.32	$S' B' S_2 + B'_3 B_3 S_2 + NS_2$	35	20	45	15,32	9,62	25,89	5,29	43,88
					18,80	7,06	12,84	5,78	55,58
კ.33	$NB'_2 S_2 + (NS_2 + S) + S' B_2$	60	20	20	16,66	8,53	24,00	11,47	39,34
					20,26	6,20	11,79	12,42	49,33
კ.34	$NB'_2 S_2 + (NS_2 + S) + S' B_2$	60	20	20	16,66	11,96	24,00	8,04	39,34
					20,50	8,80	11,94	8,82	49,94

ცხრილი 3. საკვლევი კომპოზიციების ნარევთა შედგენილობა

ცხრილი 4.  $\Psi_B$ -ს კარკასწარმოქმნელი  $B_2O_3$ -ის ოდენობების,  $f_{Si}$  და  $f_{Si,B}$ -ს ანგარიშის მეთოდები

კომპ №	$\Psi_B$	კარკასწარმოქმნელი $B_2O_3$ -ის ოდენობა, მოლ.წილი	$f_{Si}$ და $f_{Si,B}$		კომპ №	$\Psi_B$	კარკასწარმოქმნელი $B_2O_3$ -ის ოდენობა, მოლ.წილი	$f_{Si}$ და $f_{Si,B}$	
			$f_{Si}$	$f_{Si,B}$				$f_{Si}$	$f_{Si,B}$
5	1,3	0,1542	0,147	0,228	22	1,9	0,0779	0,289	0,331
6	1,5	0,1418	0,183	0,261	23	1,6	0,1119	0,216	0,277
9	1,6	0,1119	0,216	0,305	24	4,0	0,0952	0,312	0,369
10	3,4	0,1063	0,295	0,356	25	1,3	0,1385	0,176	0,250
11	1,4	0,1404	0,165	0,240	26	1,3	0,1403	0,180	0,254
12	2,0	0,1358	0,243	0,318	27	3,4	0,1220	0,301	0,371
14	1,7	0,1092	0,223	0,282	28	1,8	0,0967	0,241	0,294
15	2,5	0,1127	0,257	0,321	29	2,6	0,1171	0,269	0,335
17	1,3	0,1045	0,265	0,319	30	2,0	0,1307	0,256	0,328
18	1,6	0,0884	0,276	0,324	31	6,4	0,0568	0,336	0,371
19	2,2	0,1050	0,295	0,353	32	6,3	0,0578	0,333	0,367
20	3,1	0,1243	0,272	0,345	33	2,9	0,1242	0,249	0,320
21	2,4	0,0919	0,317	0,367	34	4,4	0,0881	0,298	0,351

ცხრილი 5. კომპონენტთა და უმდაბლესი ევტექტიკების ტემპერატურები

ოქსიდები	დნობის ტემპერატურა, K/°C	სისტემები	უმდაბლესი ევტექტიკების ტემპერატურა, K/°C	სისტემები	უმდაბლესი ევტექტიკების ტემპერატურა, K/°C
$Na_2O$	1023/750	$Na_2O \cdot B_2O_3$	995/722	$SrO \cdot SiO_2$	1631/1358
$SrO$	2938/2665	$Na_2O \cdot SiO_2$	1066/793	$BaO \cdot SiO_2$	1647/1374
$BaO$	2286/2013	$SrO \cdot B_2O_3$	1245/972	$BaO \cdot B_2O_3$	1132/859
$B_2O_3$	723/450	გამოყენებულია [13,15,20]-ში მოტანილი ინფორმაცია			
$SiO_2$	1996/1723				

იმის მიუხედავად, რომ შეუძლებლად ითვლება  $B_2O_3$ -ის სრულად გადასვლა ტეტრაედრულ მდგომარეობაში, რადგან მისი იონიზაციის ხარისხის დაყვანა  $B^- O_{2,2} O_2^-$  გამოიწვევს უარყოფითი მუხტის მეტისმეტ კონცენტრაციას [18], ჩვენ მივიღეთ გადაწყვეტილება ჩაგვეთვალა  $\Psi \geq 3$  შემთხვევაში დასაშვებად ბორის სრული გადასვლა. ეს დაშვება ემყარება ჩვენს შემჩნეულ ორ თავისებურებას:  $\Psi \geq 3$  სიდიდეები მიიღებიან, როგორც წესი,  $B_2O_3$ -ის მცირე შემცველობისას და  $f_{Si}$ -ის სიდიდისას, რომლებიც მიგვითითებდნენ მინაწარმოქმნისთვის საკმარის კაჟბადყანგბადის კარკასის შექმნას. მაგალითად, №31 და №32 კომპოზიციებში  $B_2O_3$  შემცველობა 5-6 მოლ%-ია, ხოლო  $f_{Si}$  შესაბამისად, 0,333-ისა და 0,336-ის ტოლია.  $\Psi \geq 2 < 3$ -სას, ჩვენი

დაშვებით კაჟბადჟანგბადურ კარკასში კომპოზიციაში არსებული ბორის ოქსიდის 75% მონაწილეობს მინის წარმოქმნაში, ხოლო  $\Psi < 2$ -სას - 30%.

აღნიშნულ დაშვებებით ჩატარებული ანგარიშის შედეგები მოყვანილია ცხრ. 3-ში.

მოთხოვნა ადვილდნობადობის შესახებ გათვალისწინებული იყო ინვარიანტული წერტილების შერჩევისას. ამის გარდა, ჩატარებულ იქნა [19]-ში შემოთავაზებული მრვალკომპონენტური სისტემის ტემპერატურის მიხედვით უმდაბლესი ევტექტიკის  $T_{\min}$  დადგენის მეთოდი:

$$T_{\min} = T_2 (T_2 / T_1)^{1-2/n} \quad (5)$$

სადაც  $T_1$  და  $T_2$  არის მრვალკომპონენტური სისტემაში შემავალი ორმაგი სისტემების კომპონენტებიდან ყველაზე ადვილდნობადი და ორმაგი ევტექტიკის უმდაბლესი ტემპერატურები,  $n$  - საკვლევი სისტემის კომპონენტთა რაოდენობა (ჩვენ შემთხვევაში  $n = 5$ ).

ცხრ. 5-ში მოიყვანება კომპონენტთა დნობისა და ორმაგი სისტემების უმდაბლესი ტემპერატურები [13 და 20]-ის მიხედვით. ამ მონაცემების გამოყენებით დადგინდა, რომ მე-5 და მე-9 კომპოზიციათა გარდა, რომლებშიც  $T_m = 1204K$ , ყველა დანარჩენში ევტექტიკის უმდაბლესი ტემპერატურა  $1354K$  -ს ტოლია.

განმარტავთ, რომ ცხრ. 4-ში მოტანილი  $f_{Si}$  და  $\Psi$  -ის მონაცემები (2) და (4) გამოსახულებებითაა მიღებული, ხოლო  $f_{Si,B}$

$$f_{Si,B} = \frac{\gamma[SiO_2] + \gamma^*[B_2O_3]}{\gamma[Na_2O] + \gamma[SrO] + \gamma[BaO] + 3\gamma B_2O_3 + 2SiO_2} \quad (6)$$

სადაც  $\gamma^*[B_2O_3]$  არის ამ ოქსიდის ის ოდენობა, რომელსაც შეუძლია  $[SiO_{4/2}]$  ტეტრაედრებით შექმნილ კარკასში შესვლა, ხოლო  $B_2O_3$  - კომპოზიციაში შესული  $B_2O_3$  -ის სრული რაოდენობა.

$f_{Si,B}$  -ის მნიშვნელობათა მიხედვით ცხრილში 4-ში წარმოდგენილი მასალის ანალიზით შეიძლება კომპოზიციების ორი ჯგუფის გამოყოფა. პირველ მათგანში ის კომპოზიციები შედიან, რომელთა ნადნობის გაცივებისას მინის მიღება თეორიულად დასაბუთებულია. მინაწარმოქმნა შესაძლებელი უნდა იყოს მეორე ჯგუფის კომპოზიციებიდანაც. ამ ჯგუფების მაჩვენებლები ცხრ. 6-შია მოთავსებული.

მინის წარმოქმნისადმი მიდრეკილი (თერმულად ნავარაუდები) შედგენილობებში  $Na_2O$  მერყეობს 13-დან 21 მას %-მდე;  $SrO$  5-დან 12 მას %-მდე;  $BaO$  11-დან 27 მას %-მდე;  $B_2O_3$  5-დან 16 მას %-მდე;  $SiO_2$  37-დან 49 მას %-მდე; რაც შეეხება იმ შედგენილობებს, რომლებიც შესაძლოა იყვნენ მიდრეკილები მინის წარმოქმნისადმი, მათში იგივე ოქსიდები ანალოგიური თანმიმდევრობით შეადგენენ 10-დან 21 მას %-მდე; 5-დან 13 მას %-მდე; 10-დან 34 მას %-მდე; 8-დან 21 მას %-მდე და 29-დან 45 მას %-მდე;

საანალიზოდ აღებული კომპლექსური გამოსავალი მასალებით მიღებულ შედგენილობებში, რომლებიც სავარაუდოდ ცხრ.3-ის მიხედვით უნდა იძლეოდნენ ადვილდნობად კომპოზიტებს, ოქსიდთა ოდენობა განისაზღვრება შემდეგი ინტერვალებით:  $Na_2O$  - 6-23 მას %;  $SrO$  - 5-13 მას %;  $BaO$  8-34 მას %;  $B_2O_3$  5-30 მას %; ხოლო  $SiO_2$  21- 46 მას %;

თუ შევადარებთ ზემოთ ხსენებულ ინფორმაციას ირკვევა, რომ დნობადობითა და მინის წარმოქმნის თვალსაზრისით  $SiO_2$  -ის შემცველობა კომპოზიტებში არ უნდა



იყოს 50 მას %-ზე მეტი, ხოლო დანარჩენი კომპოზონენტები შეიძლება იყოს სხვადასხვა თანაფარდობაში.

ცხრილი 6. მინაწარმოქმნისადმი მიდრეკილი კომპოზიციების ოქსიდური შედგენილობა

კომპ. №	$f_{Si.B}$	ოქსიდური შედგენილობა, მას%/მოლ%					შენიშვნა
		$Na_2O$	$SrO$	$BaO$	$B_2O_3$	$SiO_2$	
1	2	3	4	5	6	7	8
10	0,356	$\frac{13,62}{16,91}$	$\frac{10,99}{8,25}$	$\frac{26,74}{13,56}$	$\frac{9,52}{10,63}$	$\frac{39,13}{50,64}$	მინის წარმოქმნისადმი თეორიულად მიდრეკილი შედგენილობები
19	0,353	$\frac{15,66}{18,37}$	$\frac{5,98}{4,20}$	$\frac{20,61}{9,77}$	$\frac{13,41}{14,00}$	$\frac{44,34}{53,56}$	
20	0,345	$\frac{18,81}{22,89}$	$\frac{8,53}{6,21}$	$\frac{24,00}{11,80}$	$\frac{11,47}{12,43}$	$\frac{37,19}{46,67}$	
21	0,367	$\frac{15,66}{17,92}$	$\frac{5,98}{4,09}$	$\frac{17,49}{8,09}$	$\frac{11,96}{12,18}$	$\frac{48,91}{57,72}$	
24	0,357	$\frac{13,62}{17,65}$	$\frac{10,99}{8,52}$	$\frac{26,74}{14,01}$	$\frac{9,52}{7,53}$	$\frac{39,12}{52,30}$	
27	0,371	$\frac{20,42}{23,40}$	$\frac{5,98}{4,10}$	$\frac{17,49}{8,10}$	$\frac{11,96}{12,20}$	$\frac{44,15}{52,19}$	
29	0,335	$\frac{17,02}{20,44}$	$\frac{5,98}{4,29}$	$\frac{23,32}{11,27}$	$\frac{14,60}{15,61}$	$\frac{39,07}{48,39}$	
31	0,371	$\frac{17,02}{20,43}$	$\frac{8,24}{5,91}$	$\frac{23,86}{11,57}$	$\frac{5,29}{5,65}$	$\frac{45,59}{56,44}$	
32	3,367	$\frac{15,32}{18,80}$	$\frac{9,62}{7,02}$	$\frac{25,89}{12,84}$	$\frac{5,29}{5,78}$	$\frac{43,88}{55,58}$	
34	0,351	$\frac{16,66}{20,50}$	$\frac{11,96}{8,80}$	$\frac{24,00}{11,94}$	$\frac{8,04}{8,81}$	$\frac{39,34}{49,94}$	

### 1.2 თერმულად ნავარაუდები მოვლენების ექსპერიმენტული შემოწმება

ექსპერიმენტის მოცულობის მინიმიზაციის მიზნით შეფასებული იყო ცხრ. 6-ში წარმოდგენილი მაჩვენებელი. ამ მაჩვენებელთა შორის იყო ტუტე და ტუტემიწათა ოქსიდთა ფარდობა  $Na_2O/RO$ , ფარდობა  $BaO$ -სა და  $SrO$  - შორის, მინაწარმოქმნელ ოქსიდთა ჯამი  $\sum SF$ , მინაწარმოქმნელ ოქსიდთა და ე.წ. მოდიფიკატორთა  $\sum SF/(Na_2O + RO)$  და სხვადასხვა მინაწარმოქმნელ ოქსიდთა ფარდობა.

ცხრილი 7. რიგი კომპოზიციის მახასიათებლები

№№	შედგენილობა, %					მახასიათებლები, მოლ %				
	$Na_2O$	$SrO$	$BaO$	$B_2O_3$	$SiO_2$	$\frac{Na_2O}{RO}$	$\frac{BaO}{SrO}$	$\sum SF$	$\frac{\sum SF}{Na_2O + RO}$	$\frac{SiO_2}{B_2O_3}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10	16,91	8,25	13,56	10,63	50,64	0,77	1,64	61,27	1,60	4,76
19	18,37	4,20	9,77	14,00	53,65	1,31	2,33	64,15	1,98	3,83
20	22,89	6,21	11,80	12,43	46,67	1,27	1,90	59,10	1,44	3,75
21	17,92	4,09	8,09	12,18	57,72	1,47	1,98	66,91	2,22	4,74
24	17,65	8,52	14,01	7,53	52,30	0,78	1,64	59,83	1,45	6,95
27	23,40	4,10	8,10	12,20	52,19	1,92	1,98	64,39	1,81	4,28

ცხრილი 7-ის გაგრძელება

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
29	20,44	4,29	11,27	15,61	48,39	1,31	2,63	60,10	1,67	3,10
31	20,43	5,91	11,57	5,65	56,44	1,17	1,96	62,09	1,64	9,999
32	18,90	7,06	12,84	5,78	55,58	0,94	1,82	61,36	1,59	9,62
34	20,50	8,80	11,94	8,81	49,94	0,99	1,36	58,75	1,42	5,67
9	13,47	6,50	17,69	22,38	39,96	0,56	2,72	62,34	1,65	1,79
12	21,53	9,05	7,65	18,11	43,65	1,29	0,84	61,76	1,61	2,41
15	19,97	10,03	10,04	15,03	44,95	1,00	1,0	59,98	1,50	2,99
17	17,52	5,70	4,73	20,90	51,15	1,67	0,78	72,05	2,58	2,44
18	17,71	8,10	4,79	17,68	51,73	1,37	0,59	69,41	2,26	2,93
30	18,83	4,40	13,03	17,43	46,31	1,08	2,96	63,74	1,74	2,65
33	20,50	8,80	11,94	8,81	49,94	0,99	1,36	58,75	1,42	5,67

პირობითი აღნიშვნები:  $RO = SrO + BaO$ ;  $\sum SF$  - კარკასწარმოქმნელი ოქსიდების ჯამი

ცხრილ 7-ში წარმოდგენილი მონაცემებიდან ძირითადი ყურადღება კომპოზიციითაა პირველი ათეულის მახასიათებლებს მიექცა. ამ მონაცემებთა ანალიზმა გვიჩვენა, რომ  $Na_2O$ -ის მაქსიმალური ოდენობით გამოირჩევა კომპოზიცია №27, რომელსაც  $Na_2O/RO$  ფარდობის მაქსიმალური სიდიდე აქვს და  $BaO/SrO$ ,  $\sum SF/(Na_2O + RO)$  ფარდობისა და  $\sum SF$ -ის საკმაოდ მნიშვნელოვანი სიდიდეები. ამ კომპოზიციაში თერმული დამუშავებისას განვითარებული მოვლენები, როგორც ჩანს, ისეთივე უნდა იყოს, როგორც 29-სა და 31 კომპოზიციებში.

$Na_2O$ -ს მინიმალური ოდენობით კომპოზიცია №10 ხასიათდება. მას ისიც გამოარჩევს სხვადასხვა კომპოზიციებიდან, რომ მასში  $BaO$ -ს მაქსიმალურთან მიახლოებული რაოდენობაა. როგორც ჩანს, ამ შედგენილობაში განვითარებული მოვლენები ისეთივე უნდა იყოს, როგორც №24 კომპოზიციაში.

ყველაზე დაბალი  $\sum SF$  მაჩვენებელი №34 კომპოზიციას აქვს, ხოლო  $B_2O_3$ -ს მინიმალურთან მიახლოებული ოდენობა №32-ს. მასვე ახასიათებს  $SrO$ -სა და  $BaO$ -ს მაქსიმალური ოდენობა. ამავე ოქსიდთა მინიმალური რაოდენობებით გამოირჩევა №21 კომპოზიცია.

ამ და სხვა მოსაზრებების გათვალისწინებით ჩვენი არჩევანი შეჩერდა №№10, 21, 27, 32 და 34 შედგენილობებზე, რომლებიც №9 და №30-თან ერთად გამიზნული იქნა ექსპერიმენტული გამოცდებისთვის.

ექსპერიმენტს წინ უძღვოდა ზემოაღნიშნულ შედგენილობათა უზრუნველსაყოფად გამოსავალი მასალების ოდენობის დადგენა, რომლის დროს გათვალისწინებული იყო  $Na_2O$ -ისა და  $B_2O_3$ -ის შესაძლო აქროლვაზე დანაკარგები. გარდა ამისა, მიღებულია მხედველობაში კვარცის ქვიშაში მინარევი ოქსიდები, რომელთა ოდენობა არ აღემატება 0,6 მას %-ს. გაანგარიშებების შედეგები ცხრ. 8-ია წარმოდგენილი, ხოლო ცხრ. 9-ში შერჩეული კომპოზიციითაა ოქსიდური შედგენილობა.

დნობადობაზე შესამოწმებელი ექსპერიმენტი ჩატარდა სილიტებიანი ღუმელის გამოყენებით. თერმული დამუშავების რეჟიმი ითვალისწინებდა კორუნდის ქოთნებში მოთავსებული კომპოზიციების 298-დან 1573 K-მდე თანდათანობით გახურებას. ღუმელის სიგრძეზე ტემპერატურული გრადიენტი მაღალტემპერატურული დამუშავებისას არ აღემატებოდა 25-40 K-ს. თერმული

დამუშავების ხანგრძლივობა 180 წუთი, დაყოვნება მაქსიმალურ ტემპერატურაზე 60 წთ-ის განმავლობაში, მასის ქოთანთან ერთად გაციება ოთახის ტემპერატურამდე.

ვიზუალური და მიკროსკოპული (გადიდება X10) დაკვირვებით დადგინდა, რომ თერმული დამუშავების პროდუქტი გამჭვირვალე, ერთგვაროვანი ამორფული მასაა, რომელშიც რიგ შემთხვევაში შეიმჩნევა <0,1 მმ ზომის (არაუმეტეს 3-სა) მკვეთრად გამოხატული აირადი ჩანართები. ვიზუალურად ამორფული მასა გამოირჩევა მკვეთრად გამოხატული სიკრიალით.

ცხრილი 8. კომპოზიციების შედგენილობა (მას %)

ნედლეული	9	10	21	27	30	32	34
$Na_2CO_3$ (1,71)	18,383	23,290	26,778	34,918	26,197	26,197	28,488
შემცველობა (99,8 %)	18,420	23,337	26,832	34,990	26,249	26,249	28,545
აქროლვაზე დანაკ (3 %)	18,97	24,04	27,64	36,04	27,04	27,04	29,40
$SrCO_3$ (1,42)	11,630	15,606	8,492	8,492	8,492	13,660	16,983
შემცველობა (99,0 %)	11,747	15,764	8,577	8,577	8,577	13,798	17,155
აქროლვაზე დანაკ (0 %)	11,75	15,76	8,58	8,58	8,58	13,80	17,16
$BaCO_3$ (1,29)	42,518	34,495	22,562	22,562	33,850	33,398	30,960
% შემცველობა (99,0 %)	42,947	34,843	22,790	22,790	34,192	33,735	31,273
აქროლვაზე დანაკ (0 %)	42,95	34,84	22,79	22,79	34,19	33,74	31,27
$H_3BO_3$ (1,78)	33,695	16,946	21,289	21,289	28,355	9,416	14,311
შემცველობა (98,5 %)	34,208	17,204	21,613	21,613	28,787	9,560	14,529
აქროლვაზე დანაკ (11 %)	37,97	19,10	23,99	23,99	31,95	10,61	16,13
$SiO_2$ (1,0)	29,170	39,130	48,910	44,150	36,530	43,880	39,340
შემცველობა (99,1 %)	29,435	39,485	49,354	44,551	36,862	44,279	39,697
აქროლვაზე დანაკ (0 %)	29,43	39,49	49,35	44,55	36,86	44,28	39,70

ცხრილი 9 კომპოზიციის ქიმიური შედგენილობა (მას %)

ოქსიდი	9	10	21	27	30	32	34
$Na_2O$	10,75	13,62	15,66	20,42	15,32	15,32	16,66
$SrO$	8,19	10,99	5,98	5,98	5,98	9,62	11,96
$BaO$	32,96	26,74	17,49	17,49	26,24	25,89	24,00
$B_2O_3$	18,93	9,52	11,96	11,96	15,93	5,29	8,04
$SiO_2$	29,17	39,13	48,91	44,15	36,53	43,88	39,34

ამრიგად, ჩვენს მიერ შესამოწმებლად შერჩეული 10 კომპოზიციიდან 5 შედგენილობის დნობადობაზე გამოცდამ გვიჩვენა, რომ თეორიულად ნავარაუდები მოვლენები კარგ შესაბამისობაშია ექსპერიმენტულად დადგენილებთან - ხუთივე შედგენილობა სრულად გადავიდა ერთგვაროვან ამორფულ მდგომარეობაში პროგნოზირებულ ტემპერატურულ ინტერვალში.

ექსპერიმენტმა ისიც დაადგინა, რომ სინთეზის ზემოაღნიშნულ პირობებში ერთგვაროვან ამორფულ მასას ის კომპოზიციებიც იძლევიან, რომელთა  $f_{Si,B} < 0,333$ -ზე (№9-სთვის  $f_{Si,B} = 0,305$ , №30-სთვის კი  $f_{Si,B} = 0,320$ ). მაშასადამე, მინისებრი მასას იძლეოდნენ ის შედგენილობებიც, რომლებშიც  $B_2O_3$  შემცველობა - 22,37, ხოლო  $SiO_2$  - სა - 39,96 მოლ %-ით, (№9) და 17,43 და 46,31 მოლ %-ით (№30) განისაზღვრებოდა.

ზემოთ მოყვანილი კომპოზიციათა მინაწარმოქმნისადმი მიდრეკილების შეფასება - პროგნოზირების განხორციელებულმა ღონისძიებებმა და მიღებულმა შედეგებმა მიგვიყვანა დასკვნამდე, რომ ამ რთული და ექსპერიმენტულად

მოცულობითი კვლევათა ჩატარების მომთხოვნის პროცესის პროგნოზირება და მართვა „ემორჩილება“ მინის თეორიასა და პრაქტიკაში არსებულ დებულებებს. საჭიროა ამ დებულებათა მხოლოდ შესაბამისი შერწყმა, რის შედეგად მკვეთრად მცირდება ექსპერიმენტული კვლევის მოცულობა.

## 2. მხატვრული მინანქრის მიღება მრავალკომპონენტური კომპლექსური მასალების შემცველი კომპოზიციებიდან

### 2.1. კვლევების დაწყების წინა ისტორია

თავის დასახელებით განსაზღვრულ კვლევის სფეროში სტუ-ის ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტის რიგი წევრები არაერთი ათწლეულის განმავლობაში იღვწოდნენ. ამ კვლევათა კრებითი შედეგები და ე.წ. კომპლექსური მასალების შემცველ კომპოზიციებში თერმული დამუშავებისას მიმდინარე მოვლენების თავისებურებათა ახსნა-განმარტება მოყვანილია მონოგრაფიასა [21] და სახელმძღვანელოში [22]. სწორედ, რომ ამ ლიტერატურაში მოყვანილი ინფორმაციის საფუძველზეა დაფუძნებული გრანტი 090-13-ით გათვალისწინებული სამუშაოები.

კომპლექსური მასალა, რომელზედაც იყო შეჩერებული ჩვენი ყურადღება იყო პერლიტი. წყალშემცველი ვულკანური ქანი ძირითადად ამორფულია, რომელშიც ფიქსირდება პლაგიოკლაზების, მინდვრის შპატებისა და სხვა მინერალების ჩანართები. ითვლება, რომ პერლიტის სტრუქტურაში არსებობს ალუმინსილიკატური და კაჟბადოვანი კარკასები (მოტივები), რომლებიც შეესაბამებიან ლინარიტული ლავის ქანის დაკრისტალელებისა დიფერენცირებულ მინერალურ და სტრუქტურულ წყობას. ამგვარებია კვარცი, მინდვრის შპატები და ცეოლიტების ჯგუფის მინერალები.

პერლიტის ძირითადი თავისებურებაა კარკასულ წყობებში დიდი ღრუებისა და არხების არსებობა, რომლებშიც შესაძლებელია იყვნენ და გადაადგილდნენ კათიონები და მოლარული მოლეკულები. ვარაუდობენ, რომ ამგვარ ღრუებებში  $H_2O$ -ს მოლეკულები და ჰიდროქსილები ( $OH^-$ ) თავსდებიან.

ამორფული მასის უპირატესი შემცველობა პერლიტებში თითქოს და იძლევა საშუალებას მივიღოთ ადვილდნობადი ნადნობები. თუმცა კი ზემოაღნიშნული კარკასების არსებობის გამო პერლიტის დნობის ტემპერატურა საკმაოდ მაღალია.

საინფორმაციო წყაროებში არსებობს ცნობები, მათ შორის წინამდებარე ნაშრომების ავტორებისაც, რომლის მიხედვით პერლიტმა შეიძლება შეასრულოს მაღლობლის როლი იმ შემთხვევაში, თუ მას დაემატება ისეთი მასალა, რომელიც ხელს შეუწყობს კარკასების დაწილადებას. ამ მასალებს შეიძლება ვუწოდოთ პერლიტის დნობის აქტივატორები. მათ უნდა გააჩნდეთ უნარი წარმოქმნან ადვილდნობადი ევტექტიკები ან მინისებრი ფაზა გარბილების ინტერვალის დაბალი მაჩვენებლებით. ამგვარ აქტივატორებად ჩვენ არაერთხელ გამოგვიყენებია ბორის მჟავა, ფტორნაერთები და ადვილდნობადი მინები, მაგალითად, ტყვია შემცველები.

მამასადამე, პერლიტის გამოყენებისას მომინანქრების პროცესში საჭიროა კაზში შეყვანილი იყოს მაკორექტირებელი დანამატები, რომლებსაც შეეძლება პერლიტის სტრუქტურის დაბალტემპერატურული დაშლა. ამის შედეგად პერლიტი მთელი სისტემის მაღლობელი გახდება.

საჭირო იყო მხატვრული მინანქრის აღიარებული შედგენილობის შერჩევა, რომელიც კომპოზიტის შედგენილობის რაც შეიძლება მცირე შეცვლის პირობებში პერლიტის კაზმში შეყვანის საშუალებას მოგვცემდა. ამგვარ ფუძედ შერჩეული იყო ახლო საზღვარგარეთ ფერად ლითონების მოსამინანქრებად ფართოდ გამოყენებადი ტყვიაშემცველი გამჭვირვალე მინანქრის შედგენილობა, რომელსაც ხშირად „ოქროს ლალს“ უწოდებენ. ამ მიმართულებით ჩატარებულმა კვლევებმა მიგვიყვანა СЭП 24.4.4 მინანქრის შექმნამდე, რომლის შედგენილობაა (მას %):  $SiO_2 - 30,9$ ;  $SnO_2 - 0,5$ ;  $Al_2O_3 - 3,8$ ;  $Sb_2O_3 - 1,7$ ;  $PbO - 23,3$ ;  $CaO - 0,3$ ;  $K_2O - 16,1$ ;  $Na_2O - 1,7$ ;  $B_2O_3 - 6,1$ ;  $BaO - 15,1$ ;  $ZnO - 0,2$ . შედგენილობა გამოცდილი იქნა რუსეთის „ВНИИ Ювелирпром“-ში და მოწონება დაიმსახურა. თუმცა აღინიშნებოდა - იმის მიუხედავად, რომ მინანქარი სრულად პასუხობდა მასში არსებულ ტექნიკურ პირობებს, საჭიროა იყო მისი ქიმიური მედეგობის გაზრდა.

კვლევების გაგრძელებით მიღებული იქნა მინანქრები ოქროსა და ვერცხლისგან დამზადებულ ნაკეთობებისათვის. მათ შორის მათ შორის გამჭვირვალე, დახშული და ნახევარტონებიც, რომლებმაც გაიარეს ლაბორატორიული, ნახევარსაწარმო და საწარმოო გამცდები და რეკომენდირებული იყო მათი დანერგვა [23-26]. ამ სამუშაოთა პარალელურად მიმდინარეობდა კვლევები უტყვიო და უბარუიმო მხატვრული მინანქრების მიღების სფეროში, პერლიტის მეტი (ვიდრე ზემოთ მითითებულ მინანქრებში -23 მას %) გამოყენების მიზნით. ახალ კვლევებში პერლიტის აქტივატორებად გამოიყენებოდა ბორაკი და ნატრიუმსილიციუმის ფტორიდი, ნატრიუმისა და ლითიუმის კარბონატებიან შერწყმაში. მიღებულ მინანქრებს, როგორც გამჭვირვალეს, ისე დახშულს, უფეროსა და ფერადს, უნდა დაეკმაყოფილებინა სპილენძისა და მისი შენადნობების მხატვრული ღირებულების ნაკეთობათა „გაკეთილშობილების“ როგორც ტექნიკო-ტექნოლოგიური ისე ესტეტიური მხარეები.

ამ მიმართულებით ძიება „პერლიტი-კალცინირებული სოდა-ბორაკი-ლითიუმის კარბონატი“ სისტემაში გაგრძელდა  $Na_2SiF_6$ -ის თანაობისას და მის გარეშე.

კვლევის შედეგად მიღებულ იქნა ორი საბაზისო დახშული და გამჭვირვალე მინანქრის შედგენილობა, რომელთა მატერიალური და ოქსიდური თვისებები ცხრ. 10-შია წარმოდგენილი.

ცხრილი 10. დახშული (დ) და გამჭვირვალე (გ) მინანქრების შედგენილობა

მინანქრები	მატერიალური შედგენილობა, მას. წილი					ოქსიდური შედგენილობა, მას %								
	პერლიტი	სოდა	ბორაკი	$Li_2CO_3$	$Na_2SiF_6$	$SiO_2$	$B_2O_3$	$Na_2O$	$K_2O$	$Li_2O$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$CaO$	F + 100%
დ	60,3	12,4	41,4	6,0	13,5	50,7	15,1	20,8	2,7	2,4	8,0	0,4	0,4	8
გ	59,	27,4	41,7	6,0	-	45,6	15,1	25,4	2,7	2,4	8,0	0,4	0,4	-

მიღებული საბაზისო მინანქრების თვისებები დამაკმაყოფილებელ შესაბამისობაში იყო სპილენძისა და მისი შენადნობებისთვის განკუთვნილი მინანქრების მიმართ არსებულ მოთხოვნებთან:  
ხაზობრივი თერმული გაფართოების

ტემპერატურული კოეფიციენტი, $\alpha \cdot 10^{-7}$	
ქიმიური მედეგობა ძმარმჟავას,	
ზემოქმედების მიმართ, კლასი	„აა“
განღვრადობა სპილენძის ზედაპირზე, მმ	37-40
ხარშვის მაქსიმალური ტემპერატურა, °C	1200±20
ხარშვის ხანგრძლივობა, წთ	60
გამოწვის ტემპერატურული ინტერვალი, °C	720-760
გამოწვის ხანგრძლივობა, წთ	3-6

მიღებულ მინანქრებს ერთი ნაკლი აღმოაჩნდა. აკმაყოფილებდა რა მინანქრების მიმართ წაყენებულ მოთხოვნას „კლასების“ გრადაციით, არ აღმოჩნდა მდგრადი მომინანქრებული ნაკეთობის დამუშავებისას გამოყენებად აგრესიული არეების ზემოქმედების მიმართ.

ამ ეტაპიდან დაიწყო მრავალკომპონენტური მხატვრული მინანქრის მიღების საგრანტო კვლევები და ლაბორატორიულ პირობებში გამოცდის სამუშაოები.

## 2.2. მრავალკომპონენტური მხატვრული მინანქრის მოდიფიცირება და ლაბორატორიული გამოცდა

თეორიული მოსაზრებიდან გამომდინარე მიღებული მინანქრის ქიმიური მედეგობის გაზრდა შესაძლებელი უნდა ყოფილიყო  $SiO_2$  -ის, შესაბამისად მინანქრის კაზში - პერლიტის შემცველობის გაზრდით ან მასში ისეთი ოქსიდების შეყვანით, რომლებიც დადებით შედეგს მოგვცემდა.

პირველი გზის თეორიულმა ანალიზმა, გვიჩვენა, რომ  $SiO_2$  -ის ზრდას უნდა გამოეწვია როგორც ხარშვის მაქსიმალური ტემპერატურის, ისე გამოწვის ტემპერატურული ინტერვალის გადაადგილება მაღალი ტემპერატურებისკენ.

ლაბორატორიულმა გამოცდებმა ანალიზის შედეგები დაადასტურა. მეტიც,  $SiO_2$  -ის (პერლიტის) ზრდამ  $\alpha$  -ს მნიშვნელობის შემცირება გამოიწვია, რასაც უარყოფითი მოვლენები მოყვა - მინანქრის საფარსა და სპილენძის ზედაპირებს შორის დაუშვებელი დამაბულობების წარმოქმნა.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე მინანქრის ნაკლოვანების გამოსასწორებლად მეტად მიზანშეწონილად მეორე გზის არჩევა ჩაითვალა.

### 2.2.1 დახშული მინანქრის მოდიფიცირება.

მოდიფიცირების განხორციელებისთვის გამოყენებული იქნა მინისა და მინანქრის თეორიასა და პრაქტიკაში არსებული ინფორმაცია ცალკეული ოქსიდის მინის თვისებებზე ზეგავლენის შესახებ [1, 4, 29].

ცნობილია ე.წ. „ნეიტრალიზაციის ეფექტი“, რომლის მიხედვით მინაში (მინანქარში) სამი ტუტე ოქსიდის ერთდროული არსებობა მკვეთრად ზრდის ქიმიურ მედეგობას, რაც აიხსნება ერთი სახის ტუტე იონებით სხვა სახის ტუტე იონების მოძრაობის დამუხრუჭებით. ქიმიურ მედეგობის გაზრდას თუთიის ოქსიდი იწვევს, ისევე როგორც ცირკონიუმის ოქსიდი.

ისიც ცნობილია, რომ თუ ბორის ოქსიდი სამკოორდინირებულ მდგომარეობაშია იგი მინის ქიმიურ მედეგობას ამცირებს, ოთხკოორდინირებული კი ზრდის.

ამ მონაცემთა გათვალისწინებით, დახშული მინანქრების მისაღებად შეაწავლილი იქნა მინანქრების ჯგუფი, რომელთაგან რვის მატერიალური და ოქსიდური შედგენილობები ცხრ. 11-სა და ცხრ. 12-შია მოყვანილი ცხრილი 11. დახშული მინანქრების მატერიალური შედგენილობა და მათი რიგი თვისება

მინანქრის ინდექსი	მატერიალური შედგენილობა, მას %						
	პერლიტი	ბორაკი	სოდა	$Li_2CO_3$	$Na_2SF_6$	$ZnO$	$ZrO_2$
1 დ	60,3	27,4	25,0	6,0	13,5	-	-
2 დ	60,3	13,7	37,4	6,0	13,5	-	-
3 დ	60,3	13,7	28,8	6,0	13,5	5	-
4 დ	55,3	13,7	28,8	6,0	13,5	10	-
5 დ	55,3	13,7	37,4	6,0	13,5	5	-
6 დ	55,3	27,4	25,0	6,0	13,5	5	-
7 დ	55,3	13,7	28,8	6,0	13,5	10	2
8 დ	55,3	13,7	37,4	6,0	13,5	5	2

ცხრილი 12. გამოკვლეული დახშული მინანქრების ოქსიდური შედგენილობა

მინანქრის ინდექსი	ოქსიდური შედგენილობა, მას %										
	$SiO_2$	$B_2O_3$	$Na_2O$	$K_2O$	$Li_2O$	$Al_2O_3$	$FeO$	$CaO$	$ZnO$	$ZrO_2$	+100 % F
1 დ	50,2	10,0	25,9	2,7	2,4	8,0	0,4	0,4	-	-	8
2 დ	50,2	5,0	30,9	2,7	2,4	8,0	0,4	0,4	-	-	8
3 დ	50,2	5,0	25,9	2,7	2,4	8,0	0,4	0,4	5,0	-	8
4 დ	46,2	5,0	25,9	2,5	2,4	7,4	0,4	0,4	10,0	-	8
5 დ	46,2	5,0	30,7	2,5	2,4	7,4	0,4	0,4	5,0	-	8
6 დ	46,2	10,0	25,7	2,5	2,4	7,4	0,4	0,4	5,0	-	8
7 დ	44,9	5,0	25,6	2,4	2,4	7,1	0,4	0,4	8,0	10	8
8 დ	44,9	5,0	30,6	2,4	2,4	7,1	0,4	0,4	8,0	5	2

## 2.2.2 გამჭვირვალე მინანქრები

გამჭვირვალე მინანქრების მოდიფიცირებისას კაზმიდან ამოღებული იყო ხშობის ინიციატორი  $Na_2SiF_6$ , რამაც რამდენადმე შეამცირა  $SiO_2$ -ის რაოდენობა. მოდიფიცირების პრინციპები, ისევე როგორც დახშული მინანქრის შემთხვევაში, ეფუძვნება მინანქრის თეორიასა და პრაქტიკაში რეალობაში მრავალჯერ შემოწმებული დებულებებზე ოქსიდთა გავლენის შესახებ მინანქრის ამა თუ იმ თვისებებზე.

ცხრ. 13-სა და ცხრ. 14-ში წარმოდგენილია შედგენილობათა მოცულობითი დასტიდან 10 გამჭვირვალე მინანქრის მატერიალური და ოქსიდური შედგენილობები

ცხრილი 13. გამჭვირვალე მინანქრის მატერიალური შედგენილობა და რიგი თვისება

მინანქრის ინდექსი	მატერიალური შედგენილობა, მას %					
	პერლიტი	ბორაკი	სოდა	$Li_2CO_3$	$ZnO$	$ZrO_2$
1 გ	59,5	27,4	40,5	6,0	-	-
2 გ	54,5	41,7	27,7	6,0	5,0	-
3 გ	49,5	41,7	27,7	6,0	10,0	-
4 გ	54,5	27,4	40,5	6,0	5,0	-
5 გ	49,5	27,4	40,5	6,0	10,0	-
6 გ	52,5	41,7	27,7	6,0	5,0	2,0
7 გ	47,7	41,7	27,7	6,0	10,0	2,0
8 გ	52,5	27,4	40,5	6,0	5,0	2,0
9 გ	47,7	27,4	40,5	6,0	10,0	2,0
10 გ	59,5	27,4	37,1	6,0	-	2,0

ცხრილი 14. გამჭვირვალე მინანქრების ოქსიდური შედგენილობა

მინანქრის ინდექსი	შედგენილობა, მას %									
	$SiO_2$	$B_2O_3$	$Na_2O$	$K_2O$	$Li_2O$	$Al_2O_3$	$FeO$	$CaO$	$ZnO$	$ZrO_2$
1 გ	45,5	10,0	30,6	2,7	2,4	8,1	0,4	0,4	-	-
2 გ	41,6	15,2	25,2	2,5	2,4	7,3	0,4	0,4	5,0	-
3 გ	37,8	15,2	25,0	2,2	2,4	6,6	0,4	0,4	10,0	-
4 გ	41,6	10,0	30,4	2,5	2,4	7,3	0,4	0,4	5,0	-
5 გ	37,8	10,0	30,2	2,2	2,4	6,6	0,4	0,4	10,0	-
6 გ	40,1	15,2	25,1	2,4	2,4	7,0	0,4	0,4	5,0	-
7 გ	36,3	15,2	29,9	2,1	2,4	6,3	0,4	0,4	10,0	-
8 გ	40,1	10,0	30,3	2,4	2,4	7,0	0,4	0,4	5,0	-
9 გ	36,3	10,0	30,1	2,1	2,4	6,3	0,4	0,4	10,0	-
10 გ	45,5	10,0	28,6	2,7	2,4	8,1	0,4	0,4	-	-

ცხრ. 15-ში წარმოდგენილია თერმული გაფართოების ხაზობრივი კოეფიციენტის ( $\alpha$ ) და ზედაპირის ხარისხის მიხედვით გამორჩეული გამჭვირვალე და დახშული მინანქრების რიგი თვისებები.

ცხრ. 15-ში წარმოდგენილი მინანქრის თვისებები დადგენილია [30]-ს მიხედვით.

ცხრილი 15. მინანქრების თვისებები

მინანქრის თვისება	მინანქრის ინდექსი							
	1 დ	3 დ	4 დ	7 დ	3 გ	6 გ	7 გ	8 გ
თერმული გაფართოების ხაზობრივი კოეფიციენტი $\alpha \cdot 10^{-7}$	136-140	140-145	144-150	136-140	136-140	136-140	138-145	153-160
ქიმიური მდგრადობა ლიმონმჟავას მიმართ, „კლასი“	„ა“	„ა“	„ა“	„ა“	„ა“	„ა“	„ა“	„ა“
განღვრადობა (ჩამოღინების სიგრძე), მმ	36	39	40	37	37	39	41	43
ხარშვის ტემპერატურა/ხანგრძლივობა, $^{\circ}C$ /წთ	1200 ± 20 / 60							
გამოწვის ტემპერატურა/ხანგრძლივობა, $^{\circ}C$ /წთ	720-750/3-5							



### 2.2.3 ფერადი დახშული და გამჭვირვალე მინანქრების შეფერვის საკითხები

მინანქრის ფერადი საფარის მისაღებ ფუძედ ამორჩეულ იქნა №3 გ და №4 დ შედგენილობები (ცხრ.15-ში მოცემული შედგენილობების არიდან).

დადგენილია ამ მინანქრების ვარგისიანობა მოლეკულური და კოლოიდური საღებავებითა და პიგმენტებით შეღებილი მინანქრის საფარების მიღების თვალსაზრისით. მოლეკულურ საღებავებად გამოყენებულია  $Co_3O_4$ ,  $Ni_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MnCO_3$ ,  $MnO_2$ ,  $CuO$ ,  $GeO_2$ ,  $Nb_2O_5$ , კოლოიდურად -  $Se$ ,  $CdS$ . პიგმენტებად - დულევოს საღებავების ქარხნის პროდუქცია №1024 მოწითალო-ნარინჯისფერი, №160 სალათისფერი-მწვანე, №906 მოლურჯო-ცისფერი.

ზემოხსენებული მოლეკულური და კოლოიდური საღებავებით მიღებული შეფერილობა ძირითადად შეესაბამება სილიკატურ მინებში მათთვის დადგენილ ფერებს. თუმცა, პერლიტში მიკრომინარეების არსებობა შეფერილობების სხვადასხვა ელფერს იწვევენ. უმეტეს შემთხვევაში, ამ შემადგენლების რეგულირებით შესაძლებელია ერთი და იმავე შეფერილობის სხვადასხვა ელფერით სახეცვლილებების მიღება.

ხარისხიანი მინანქრის საფარის მიღების აუცილებელ პირობას, მისი ლითონის ზედაპირზე დატანის სწორად შერჩეული რეჟიმი და მინანქრის სუსპენზიაში მარცვლების ოპტიმალური ზომა წარმოადგენს. მინანქრის განღვრადობის, საფარის ზედაპირის სითანაბრის, გამოწვის ტემპერატურისა და ხანგრძლივობის მინანქრის ფხვნილის დისპერსიულობასთან დამოკიდებულების შეფასება ავლენს, რომ №0063 საცერში გასული ფხვნილები გამოწვისას მინალითონის საზღვარიდან მინანქრის გაწელვას (მენისკის წარმოქმნით) იწვევს. კარგ შედეგს იძლევა №0063 საცერზე დარჩენილი ფხვნილები. ისინი ლითონის ზედაპირის მინანქრით დასველების მაღალ ხარისხს აჩვენებენ.

პიგმენტით მინანქრის საფარის შეღებვისას, ზოგიერთი მათგანი (ძირითადად, გოგირდშემცველი) იწვევს საფარის საფარის ე.წ. "აქაფებას" ან მცირეოდენ შეუსაბამობას ფერში. ამ წუნის მოსაცილებლად საჭიროა დადგენილ იქნას პიგმენტის ოპტიმალური რაოდენობა. ზოგ შემთხვევაში, მინანქარი წინასწარ იღებება (მოლეკულური და კოლოიდური საღებავით) პიგმენტის შესაბამის ფერში. მთელი რიგი პიგმენტისთვის, მიზანშეწონილია პიგმენტთან მინანქრის ფხვნილის წინასწარ შეცხობა, შეცხობის შესაბამის ზომებამდე შემდგომი დაწვრილმანებით [31].

## მიღებული შედეგები

№090-13 საგარანტო პროექტზე „მხატვრული მინანქარი“ მუშაობისას მიღებული შედეგები შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი დასკვნებით:

- ჩამოყალიბებული და განხორციელებულია სპილენძისა და მისი შენადნობებისთვის გამიზნული მინანქრის პროგნიზირებისადმი მიდგომა, რომელიც ეფუძვნება მინის წარმოქმნის სტრუქტურული და კინეტიკური თეორიების (ჰიპოთეზების) ძირითად დებულებებს;
- შემოთავაზებული მიდგომა აპრობირებულია  $Na_2CO_3 - SrCO_3 - BaCO_3 - H_3BO_3 - SiO_2$  სისტემის საფუძველზე მიღებულ კომპოზიციებზე, რომელმაც ცხადყო თეორიულად ნავარაუდები და ექსპერიმენტული გამოცდების შედეგების კარგი შესაბამისობა;
- მოდიფიცირებული და ნახევრად საწარმოო პირობებში რეალიზირებული იქნა სპილენძისა და მისი შენადნობებისთვის განკუთვნილი მხატვრული ღირებულების მქონე გამჭვირვალე და დახშული, ფერისა და ნახევარტონების მნიშვნელოვანი ასორტიმენტის მინანქრები. მათ შორის წერტილოვნად „მოკაშკაშე“ საფარები სპილენძისა და მისი შენადნობებიდან მიღებულ ნაწარმთა ზედაპირზე;
- შექმნილია ძირითადი წინაპირობები, რათა ქიმიური ტექნოლოგიის ფაკულტეტზე ჩამოყალიბდეს საწარმოო უბნები მხატვრული მინანქრისა და მომინანქრების სფეროში, რომელსაც ძალუმს აწარმოოს სხვადასხვა სახისა და დანიშნულების მომინანქრებული მხატვრული ღირებულების ნაკეთობები დაკვეთებითა და მისი სამომხმარებლო ბაზაზე გატანით.

## ლიტერატურა

1. Брагина Л.Л. и др. Технология эмали и защитных покрытий. Х.:НТУ "ХПУ", 2003. 484 с.
2. Голеус В.И. Проектирование составов эмали с заданным комплексом свойств. Инф. Вест. №2 общ. Орг. "Укр. Асс. эмалировщиков". 2002. с 20-35.
3. Пенцольд А., Пешман Г. Эмаль и эманирование. М.: Металлургия. 1990. 774 с.
4. Шельби Дис. Структура, свойства и технология стекла. М.: Мир. 2006. 288 с.
5. Аппен А.А. Химия стекла. Л.: Химия. 1970. 352 с.
6. Роусон Г. Неорганические стеклообразующие системы. М.: Мир. 1970. 312 с.
7. Мазурин О.В. Стеклование. Л.:Наука, 1986, 160 с.
8. Шульцин М.М., Мазурин О.В. Современные представления о строении стёкл и их свойствах. Л.:Наука, 1988, 199 с.
9. Turnbull D., Cohen M.H. J. Chem. Phys., 29, 1958-1049
10. Turnbull D., Cohen M.H. Jn. "Modero Aspects of the Vitreous state" v.1. London, Ed. Macrenzie S.D. 1960, p.38-62
11. Кузнецов В.А. Кристаллы и кристаллизация. М.: ТТЛ, 1954. 412 с.
12. Филипович В.Н. О связи между структурами расплава. Стекла и продуктов кристаллизации. В КН. Стеклообразное состояние. М-Л: Наука. 1965. с. 38-44
13. Торопов Н.А. и др. Диаграммы состояния силикатных систем. Вып. 1. Двойные системы. М-Л.: Наука. 1965. 548 с.
14. Торопов Н.А. и др. Диаграммы состояния силикатных систем. Вып. 3. Тройные системы. Л.: Наука. 1972. 448 с.
15. Глушко В.А. Термические константы веществ. Вып. IX. М.: ВНИИТИИ ВТ. 1973. с. 160-269
16. Штейнберг Ю.Г. Тюрин Э.Ю. Стекловидные покрытия для керамики. Л.: Стройиздат. 1989. 193 с.
17. Gan-Fu-Si. Scientia Sinica. 12, №9, 1963, 1355 p.
18. Мюллер Р.Л. Химия твёрдого стекла и стеклообразное состояние. В. КН. Химия твёрдого стекла. Л.: ЛУ, 1965. С. 9-63
19. Бережной А.С. Многокомпонентные щелочные оксидные системы. К-в; Научно Думка, 1988, 198 с.
20. Касимова С.С., Милюков Е.М., Петровский Г.Т. Стронций в стекле. Л.: Стройиздат. 1978. 210 с.
21. ა. სარუხანიშვილი., ვ. გორდელაძე. არალითონური არაორგანული კომპოზიტების მიღებაში რიგი კომპლექსური ნედლეულის გამოყენების თეორია და პრაქტიკა. მონოგრაფია, თბილისი, სტუ, 2009, 170 გვ.
22. ვ. გორდელაძე, ა. სარუხანიშვილი. მონანქარი და მომინანქრების ტექნოლოგია. სახელმძღვანელო, თბილისი, სტუ, 2004. 240 გვ.
23. Разработка и опытно-промышленные испытания новых составов низкотемпературных ювелирных эмалей для сплавов золота. Отчёт по хоздоговору темы 71/76 № Регистрации 76035443 № инвентарный 706370, I часть, ноябрь. Руков. Кутателадзе К. С.. 1977.
24. Разработка легкоплавких окрашенных ювелирных эмалей для сплавов золота и серебра. Отчёт по хоздоговору темы 225/78 Регистрации 78057657 № инвентарный Б 950030, 14 май 8-1980. Руков. Саруханишвили А.В.

25. Синтез легкоплавких эмалей разного назначения, безглинистых шликеров и изучение сцепления эмалей с металлами. Отчёт по программе 0.36.02. № Гос. регистр. 01.840034364. инв. №0286.0 026659. Руков. Саруханишвили А.В., 1985
26. Саруханишвили А.В., Горделадзе В.Г. и др. Тр. Урал НИИНМ. 1983. С. 47-51
27. Саруханишвили А.В., Горделадзе В.Г. и др. В сб. Физическая химия и технология тугоплавких неорганических материалов. Л.: , 1989. С. 109-113
28. Sarukhanishvili A.V., Gotgeladze V.G., Razmadze M.T. The Vitreous Enamellos. 1990. V. 41, №2. p. 43-47
29. Химическая технология стекла и ситаллов. П/Р. Павлушкина Н.М. М.: Стройиздат 1983. 432 с.
30. ვ. გორდელაძე, ა. სარუხანიშვილი. კონტროლის მეთოდები და საშუალებები მინანქრისა და მომინანქრების ტექნოლოგიაში. დამხმარე სახელმძღვანელო. თბილისი, სტუ, 2013, 52 გვ.
31. ვ. გორდელაძე. ფერადი ლითონების მომინანქრება. ჟურნალი "კერამიკა", 2004, 1(11), გვ. 15-17