

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მაია ზაქარაია

**აგროდანიშნულების მიკროელემენტშემცველი
კომპოზიტების მიღება და მათი წყალხსნარებში
ტრანსფორმირების შესწავლა**

სადოქტორო პროგრამა: ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერია
შიფრი-0410

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

ავტორეფერატი

თბილისი

2022

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში
ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტი ქიმიური და
ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი

თანახელმძღვანელები: პროფესორი: თეიმურაზ ჭეიშვილი

პროფესორი: მათა მშვილდაძე

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება ----- წლის "-----" -----, ----- საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „ქიმიური ტექნოლოგიისა და
მეტალურგიის ფაკულტეტის“ სადისერტაციო კოლეგიის სხდომაზე,
კორპუსი -----, აუდიტორია -----

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 69.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება საქართველოს ტექნიკური
უნივერსიტეტის ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის
ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი :

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალობა. სოფლის მეურნეობაში საწარმოო სიმძლავრეების უზრუნველსაყოფად ძირითად სასუქებთან (აზოტის, ფოსფორის, და კალიუმის შემცველი) ერთად, დიდი მნიშვნელობა აქვს მიკროსასუქებს-მიკროელემენტების შემცველ ნივთიერებათა მიზნობრივ გამოყენებას. მიკროელემენტები მცენარეებს ძალზე მცირე ოდენობით სჭირდება (საერთო მასის ათასეულ და ათიათასეულ წილს შეადგენს), მაგრამ ყოველი მიკროელემენტი გარკვეული ფუნქციის მატარებელია და მათი ურთიერთჩანაცვლება ბუნებაში არ ხდება. საგულისხმოა, რომ მცენარეულ საკვებში მიკროელემენტების ნაკლებობას ან სიჭარბეს შეუძლია გამოიწვიოს მათი ძირითადი მომხმარებლის - ცხოველებისა და ადამიანის ჯანმრთელობაზე როგორც დადებითი, ასევე, უარყოფითი ზემოქმედება.

ცოცხალ ორგანიზმში ათეულობით მიკროელემენტია, მაგრამ სიცოცხლისუნარიანობის უზრუნველსაყოფად აუცილებელ მიკროელემენტებს მიეკუთვნება 8 და ესენია: რკინა, სპილენძი, მანგანუმი, თუთია, მაგნიუმი, ბორი, მოლიბდენი და კობალტი. მათგან ძალზედ გავრცელებულია და მიზნობრივად გამოიყენება სხვადასხვა ბუნების ბორის, თუთიის, მანგანუმის, სპილენძისა და მოლიბდენის შემცველი მიკროსასუქები. კერძოდ, გამოყოფენ მიკროსასუქების 4 სახეობა (კატეგორია): არაორგანული ნაერთები (მარილები), ორგანული კომპლექსები (სინთეზური ჰელატები და ორგანული მჟავათა მარილები), ბუნებრივი მიკროელემენტშემცველი მარილები (გადამუშავებული ქანები და საწარმოო ქანები) და ფრიტები(ხელოვნულად მიღებული მიკროელემენტშემცველი მინამასალები). ყველა მათგანი განსხვავდება მიკროელემენტების შემცველობით (მასალაში მათი წილით), მცენარისათვის ხელმისაწვდომობით (ათვისებადობით), შეტანის (მოხმარების) ფორმითა და ინტენსივობით.

მიკროსასუქების სახეობათა შორის გამორჩეული ადგილი უკავია კომპლექსურ (პოლიმიკროელემენტმცველ) და ამავე დროს, პროლონგური მოქმედების მიკროსასუქებს, რომელთა პრაქტიკულ ღირებულებას განსაზღვრავს სასიცოცხლო მნიშვნელობის რამოდენიმე ელემენტთა ერთდროულად მოწოდება და მიზნობრივი შეტანის (მოხმარების) ინტენსივობის დიდი (თვეები, წლები) ინტერვალები.

კვლევის მიზანს წარმოადგენდა, ნიადაგის ხასიათიდან გამომდინარე, შერჩევითი ხსნადობის პროლონგური ქმედების კომპლექსური შედგენილობის მქონე მინისებრი მიკროსასუქების მიღება, მათი მიზნობრივად გამოყენების პერსპექტიულობის დადგენა შედგენილობიდან და გრანულომეტრიიდან გამომდინარე.

კვლევის ობიექტები და მეთოდები. საკვლევ ობიექტს წარმოადგენდა 4 სახეობის (Zn, Mn, Cu და B) მიკროელემენტის შემცველი მინისებრი მასალების (მინები და კომპოზიტები) მიღება, რომლებსაც ახასიათებს შერჩევით ხსნადობა (ტესტურ რეაგენტებთან მიმართებაში) და რომლებიც მიზნობრივად შეიძლება გამოყენებულიყო პროლონგური ქმედების მიკროსასუქების სახით.

საკვლევ ნიმუშებად შერჩეულ იქნა $ZnO (CuO) - MnO - B_2O_3$ 2 სამკომპონენტური სისტემის $xZnO \cdot (50-x)MnO \cdot 50B_2O_3$ და $xCuO \cdot (50-x)MnO \cdot 50B_2O_3$ შემადგენლობები, რომლებშიც $X=1;2.5;5$. აღნიშნული შედგენილობის საფუძველზე დაიგეგმა, მინის და კერამიკის ტექნოლოგიაში ცნობილი ხერხებით მინამასალების (მინები და თერმული დამუშავებით მიღებული შეცხობილი/დაკრისტალბული კომპოზიტები) მიღება და მათი შემდგომი მიზნობრივი შესწავლა.

სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოს შესასრულებლად გამოყენებულ იქნა შემდეგი მეთოდები და ხელსაწყოები/დანადგარები:

- საკვლევ კაზმების თერმული დამუშავება და შეცხობილი მასალების, მინამასალების სინთეზი და მათი შემდგომი თერმული დამუშავებით კომპოზიტების მიღებისათვის გამოყენებულ იქნა

ტემპერატურის მზომ-მარეგულირებელი სისტემებით აღჭურვილი მალარტემპერატურიანი კამერული და ელექტროგამახურებლიანი ღუმელები.

- მინებისა და კომპოზიტების სიმკვრივის განსაზღვრა ჩატარდა ჰიდროსტატიკური აწონის მეთოდით;
- საკვლევ მასალათა დაქუცმაცება და საცრითი ანალიზით საკვლევ ფრაქციებად დაყოფა;
- მასალათა გრანულიანი ფრაქციულობის ნაყარი (მოცულობითი) სიმკვრივე დადგინდა საზომი ჭურჭლის მოცულობისა და მასში მოთავსებული ფხვნილების მასის ფარდობის დადგენით;
- მიღებულ მყარ მასალათა (განსხვავებული ფრაქციულობის მინა და კომპოზიტი) სატესტო რეაგენტებში ხსნადობის დადგენა წონის დანაკარგების მეთოდით;
- ხსნადობის შესწავლის შედეგად ნარჩენი ხსნარების კვლევა განხორციელდა λ -2 ტიპის სპექტრომეტრით (სპექტრის ხილვადი ნაწილი);
- საკვლევ კაზმებში მიმდინარე გარდაქმნების შესწავლისას გამოყენებულ იქნა პაულიკ, პაულიკ, ერდის ტიპის დერივატო-გრაფი, ხოლო ფაზური გარდაქმნების ხასიათი დადგინდა DPOH-2 ტიპის დიფრაქტომეტრზე.

სამუშაოს სიახლე და ძირითადი შედეგები

შესწავლილ იქნა $x(\text{ZnO}, \text{CuO}) \cdot (50-x)\text{MnO} \cdot 50\text{B}_2\text{O}_3$ შედგენილობის კაზმებში მიმდინარე პროცესები და დადგინდა, რომ 500-900°C ინტერვალში წარმოიქმნება მრავალი მიკროელემენტმცველი ნაერთი და მათ შორის თუთიის, მანგანუმის და სპილენძის სხვადასხვა შედგენილობის ბორატები და მანგანიტები. მიღებული იქნა როგორც მინამასალები (სინთეზი 1050-1100°C) ასევე, მათი მიზნობრივი დაკრისტალებით (600-900 °C ინტერვალში) მინაკრისტარული მასალები (კომპოზიტები), რომელთა

შედგენილობა, ფრაქციულობა და ასევე ტესტირების ხანგრძლივობა (ერთეული საათიდან რამოდენიმე დღემდე) განსაზღვრავს სატესტო რეაგენტებში (2%-ანი ლიმონმჟავა და 0.1N NaOH-ის ხსნარები) მათ ხსნადობას.

დადგინდა, რომ მინების მიზნობრივად ჩატარებულ დაკრისტალებით მიღებული კომპოზიტები ხასიათდებიან საწყისი მინებისაგან მკვეთრად განსხვავებული წამყვანი თვისებებით და მათ შორის გამოკვეთილად სატესტო რეაგენტებში ხსნადობის უფრო მაღალი პროლონგურობით.

სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა

სხვადასხვა შედგენილობის მინამასალების კაზიმების და მათ საფუძველზე მიღებული მინამასალების (ამორფული მინა და მინაკრისტალური აღნაგობის კომპოზიტი) მრავალფეროვნება (ქიმიური და ფაზური შედგენილობა), მიღებულ მასალათა ფრაქციულობის შერჩევით და ხსნადობის პროცესის თავისებურებათა ანალიზით მოპოვებულია ექსპერიმენტული მტკიცებულება, რომ 4 სახის მიკროელემენტის შემცველი 2 მოდელოური სისტემის საფუძველზე შესაძლებელია პროლონგური და ამავე დროს შერჩევითი ხსნადობის აგროდანიშნულების მასალების (მიკროსასუქების) მიღება.

სამუშაოს აპრობაცია: სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი დებულებები მოხსენიებულ იყო საერთაშორისო კონფერენციაზე:

„პროლონგური ქმედების მიკროსასუქების მიღება თუთიისა და სპილენძის ბორმანგანუმიან სისტემურ კომპოზიციებში და მათი შესწავლა“, ქიმიის მეცნიერებათა დოქტორის პროფესორ ვიქტორ დიმიტრის-ძე ერისთავის დაბადებიდან 80 წლისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო საიუბილეო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება“, თბილისი . 2019წ.

პუბლიკაციები: სამუშაოს ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო ნაშრომში.

სამუშაოს მოცულობა: სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შემდეგი ნაწილებისგან: შესავალი, ლიტერატურის მიმოხილვა (5 ქვეთავი) კვლევა, შედეგების განსჯა (6 თავი) და წარმოდგენილი ნაბეჭდ 115 ფურცელზე; შეიცავს რეზიუმეს, 14 ცხრილსა და 18 ნახაზს, 124 ციტირებულ ლიტერატურას.

1. ლიტერატურის მიმოხილვა

ლიტერატურის მიმოხილვაში წარმოდგენილია მრავალფეროვანი მასალა, რომელიც ერთ ძირითად პრობლემას უკავშირდება-რა ფუნქციებს ასრულებს მიკროელემენტები ცოცხალი ორგანიზმების ზრდა-განვითარებაში, მათში მიმდინარე ძირითადი ფიზიოლოგიური პროცესების მიმდინარეობაზე, ასევე მიკროელემენტების ნაკლებობის და სიჭარბის გავლენას ორგანიზმზე. განხილულია მიკროელემენტმემცველი სასუქების მრავალი სახეობა, მათი გამოყენებისას არსებული დადებითი და უარყოფითი მხარეები და მათ შორის პრაქტიკულ გამოყენებასთან მიმართებაში არსებული ეკოლოგიური ხასიათის პრობლემები.

ლიტერატურულ მიმოხილვაში აღნიშნულია, რომ სოფლის მეურნეობაში გამოყენებული თანამედროვე სასუქები გამოირჩევიან მრავალფეროვნებით და შედგენილობით, განსხვავდებიან ქმედების ეფექტურობით და ეკონომიურობით. ლიტერატურის მიმოხილვაში განხილულია მიკროელემენტების მნიშვნელობა მცენარეებისათვის (თავი 1.1), მიკროელემენტების შემცველობა სხვადასხვა ტიპის ნიადაგში და მცენარეთა მიერ მათი დაგროვების საკითხები (თავი 1.3).

დღეისათვის ფართოდ გამოყენებადი მიკროსასუქების ნაირსახეობა, მათი დანიშნულებისა და მიზნობრივი გამოყენების საკითხები აღწერილია და კრიტიკულად არის შეფასებული მომდევნო 1.4 თავში.

აღნიშნულ ოთხ თავში მოყვანილი მასალის ანალიზის საფუძველზე ჩამოყალიბდა კვლევის ამოცანები და მათი გადაჭრის გზები (თავი 1.5). კერძოდ, სამუშაოს მიზანი შემდეგი სახით იქნა წარმოდგენილი:“ რიგი მიკროელემენტმემცველი მინისებრი მასალის მიღება და მათი პროლონგური ქმედების კომპლექსური მიკროსასუქების სახით გამოყენების პერსპექტიულობის დადგენა.“

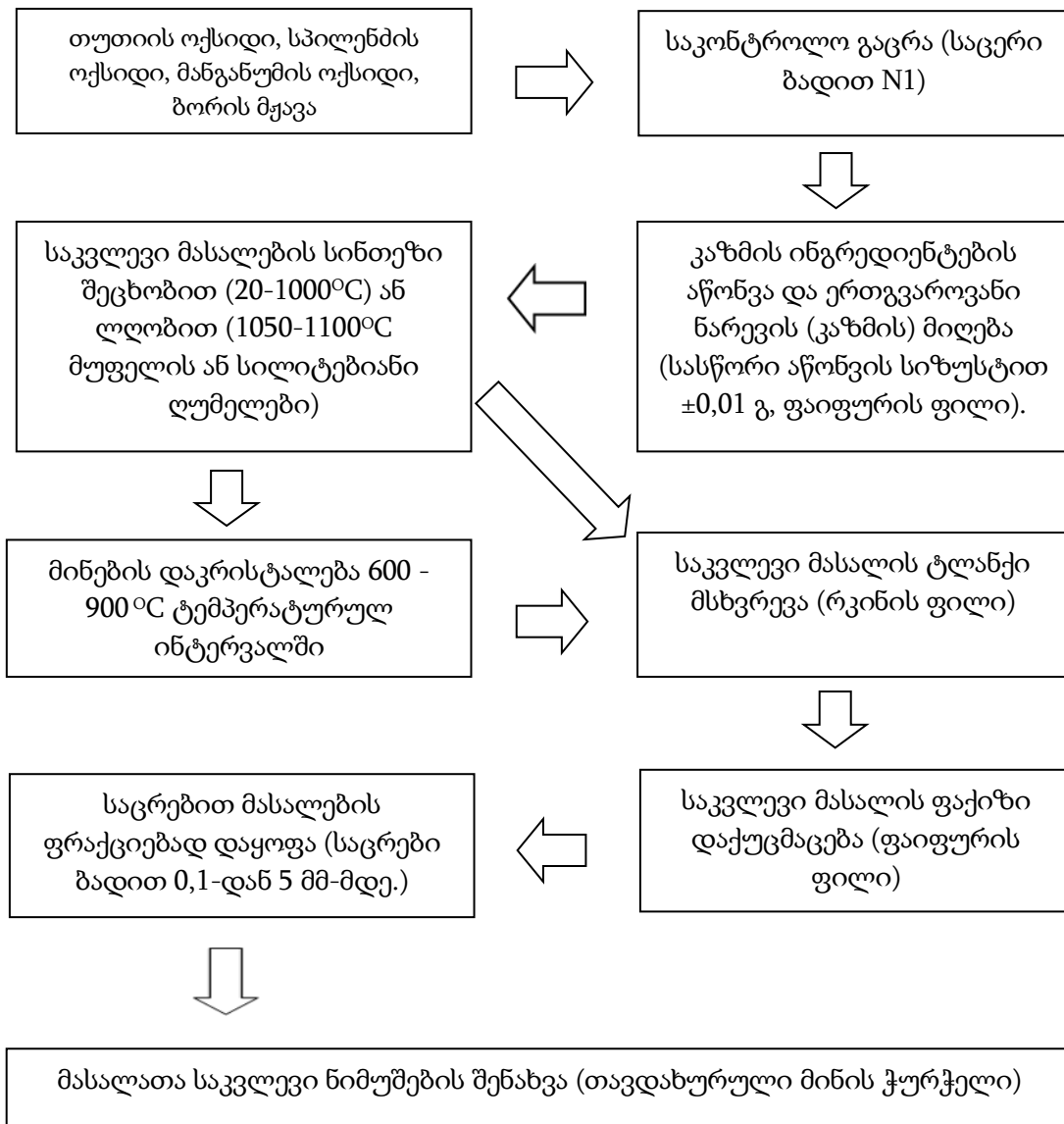
2. კვლევა, შედეგები და მათი განსჯა

როგორც აღინიშნა, ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევის მიზანს წარმოადგენდა პოლიმიკროელემენტებში შემცველი და ამავე დროს, პროლონგური ქმედების მიკროსასუქების მიღება, რაც დაიგეგმა მინის და კერამიკის მასალების მიღებისას გამოყენებული მიდგომების საფუძველზე. აქედან გამომდინარე, ახალი შედგენილობის მასალების (შეცხოვნილი კაზმების, მინების და კომპოზიტების) მისაღებად, ძირითადად, გამოყენებულ იქნა შესაბამის დარგებში ფართოდ გავრცელებული მასალების სინთეზისა და კვლევის მეთოდები. ამავე დროს, მიკროსასუქების გამოყენების მიმართ მოთხოვნათა გათვალისწინებით საჭირო გახდა მათი ხსნადობის განსაზღვრა სხვადასხვა ტესტურ რეაგენტებში. აღნიშნული მიმართულებით გამოყენებული მიდგომები და კვლევის მეთოდები აღწერილია თავი 2.1-ში.

2.1. საკვლევ მასალათა მიღება

კვლევის ამოცანებიდან გამომდინარე, საკვლევ $x\text{CuO}(\text{ZnO}) \cdot (50-x)\text{MnO} + 50\text{B}_2\text{O}_3$ სერიის შედგენილობებში, შესაბამისი ოქსიდების შესაყვანად გამოყენებულ იქნა 3 სახის ოქსიდი: თუთიის, სპილენძის და მანგანუმის ოქსიდები (შესაბამისად ZnO , MnO , CuO), რომელთა შესაბამისი რეაქტივების სისუფთავე განისაზღვრა მარკებით „ქიმიურად სუფთა“ და „სუფთა ანალიზისთვის“. კიდევ ერთი ელემენტის - ბორის შესაყვანად გამოყენებულ იქნა ბორის მჟავა (მარკა „ტექნიკური“),

კაზმის მომზადების, მისგან საკვლევ მასალების და საკვლევ ნიმუშების მომზადების ტექნიკური სქემა მოყვანილია პირველ ნახაზზე.



ნახაზი 1. საკვლევი მასალების კაზმის მიღების, მინამასალის სინთეზის და ნიმუშების კვლევისთვის მომზადების ოპერაციათა თანმიმდევრობა და პირობები

მიზნობრივად სინთეზირებული ახალი მასალების თვისებათა შესწავლისა და დახასიათებებისათვის, შესაბამისად სპეციალურ ლიტერატურაში არსებულ მონაცემებზე დაყრდნობით, მიზანშეწონილად იქნა მიჩნეული და შესწავლილი იყო/ჩატარდა:

1. მასალათა სიმკვრივე (კუთრი წონა);
2. მასალათა ნაყარი (მოცულობითი) სიმკვრივე;

3. მასალათა კრისტალიზაციისადმი მიდრეკილება;
4. მასალათა ხსნადობა სატესტო ქიმიურ რეაგენტებში;
5. ხსნადობის ექსტრაქტების სპექტრული კვლევა;
6. მინამასალის სინთეზისას მიმდინარე ფიზიკურ-ქიმიური გარდაქმნების კვლევა.

ამავე თავში აღწერილია კვლევისას გამოყენებული მეთოდები და მიდგომები, რომელთა გათვალისწინებით განხორციელდა მიზნობრივად მიღებული მასალების თვისებათა სტრუქტურის შესწავლა.

მიზნობრივად ჩატარებული კვლევა ორ ეტაპად განხორციელდა:

- ოთხი მიკროელემენტის შემცველი მინების $\text{CuO-MnO-B}_2\text{O}_3$ და $\text{ZnO-MnO-B}_2\text{O}_3$ სისტემაში მიღება და მათი მახასიათებელი თვისებების (მათ შორის სატესტო რეაგენტებში ხსნადობის) დადგენა (პირველი ეტაპი);
- თვისებათა შესწავლის საფუძველზე პერსპექტიულობით გამორჩეული მინების მიზნობრივად დაკრისტალება და ამ გზით მინაკრისტალური (კომპოზიტიური) მასალის მიღება და მახასიათებელ თვისებათა შესწავლა (მეორე ეტაპი).

საკვლევი $\text{CuO-MnO-B}_2\text{O}_3$ და $\text{ZnO-MnO-B}_2\text{O}_3$ სისტემაში შედგენილობების (სერია ZMB და სერია CMB) კაზმის შესადგენად საჭირო გახდა საკვლევი მინების შედგენილობის მოლ.%-დან გადაყვანა მას.%-ში და შემდეგ, ნედლეულში ძირითადი შემადგენლის შემცველობიდან გამომდინარე, კაზმის შედგენილობის გათვლა (ცხრილი 1. და ცხრილი 2.)

სადისერტაციო ნაშრომში წარმოდგენილია CMB და ZMB შემადგენლობის კაზმების დერივატოგრამები და მახასიათებელ თერმოფექტების შესატყვის ტემპერატურაზე დამუშავებული კაზმების დიფრაქტოგრამები. მათი შეჯერებული ანალიზის შედეგები წარმოდგენილია მე-3 ცხრილში. მიღებული შედეგის თანახმად კაზმების მაღალტემპერატურული შეცხოვისას (773-1127K) მოსალოდნელია მრავალრიცხოვან ისეთ ფაზათა თანაარსებობა, როგორცაა ამორფული

B₂O₃, მანგანუმის და ასევე სპილენძისა და თუთიის დიბორატები, მანგანუმის ტერაბორატები და სხვა.

ცხრილი 1. ZnO(CuO)-MnO-B₂O₃ სისტემის საკვლევ შედგენილობათა მოლ.% -დან წონ.%-ში გადათვლის შედეგები

სერია	შედგენილობის ინდექსი	ოქსიდების შემცველობა საკვლევ შედგენილობებში					
		მოლ.%			მას.%		
		RO	MnO	B ₂ O ₃	RO	MnO	B ₂ O ₃
ZnO-MnO-B ₂ O ₃		ZnO			ZnO		
	ZMB-1	10	40	50	11.4	93.7	48.9
	ZMB-2	25	25	50	25.6	28.6	45.8
	ZMB-3	40	10	50	39.8	17.4	42.8
CuO-MnO- B ₂ O ₃		CuO			CuO		
	CMB-1	10	40	50	11.2	39.9	48.9
	CMB-2	25	25	50	27.2	24.7	48.1
	CMB-3	40	10	50	43.2	9.6	47.2

ცხრილი 2. ZMB და CMB სერიის საკვლევ შემადგენლობათა კაზმები

შედგენილობის ინდექსი	კაზმის მასალების რაოდენობა (წ.ნ) 100წ.ნ. მინის მისაღებად				კაზმის მასა (წონა) 100 მას% (წ.ნ). მინის მისაღებად
	ZnO	CuO	MnO	H ₃ BO ₃	
ZMB-1	11.5	-	40.1	88.5	140.1
ZMB-2	25.8	-	28.8	82.9	137.5
ZMB-3	40.2	-	17.6	77.5	135.3
CMB-1	-	11.3	40.3	88.5	140.1
CMB-2	-	27.5	24.9	87.1	139.5
CMB-3	-	43.6	9.7	85.4	138.7

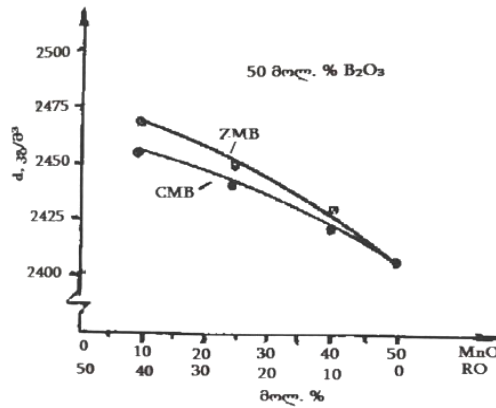
ცხრილი 3. ZMB და CMB სერიის კაზმებში მიმდინარე თერმული პროცესები და წარმოქმნილ კრისტალურ ფაზათა იდენტიფიკაცია

№	საკვლევი სისტემა (შედგენილობის ინდექსი)	თერმოფექტების ტემპერატურული ინტერვალი (K)	თერმოფექტის სახეობა ($\pm Q$)	ეტაპის ბოლოს წარმოქმნილი ფაზების (ფორმულა) სახეობა
1	ZMB-1	313 – 338 373 – 573 573 – 873 873 – 1173 მეტია 1273	+ - - -	$H_3BO_3, MnO, ZnO,$ $HBO_2, MnO, ZnO,$ $MnO, MnO_2, ZnO, B_2O_3, ZnO$ $MnO, Mn_2O_3, Mn_3O_4, Mn(BO_2)_2,$ MnB_4O_7, B_2O_3 (ამორფ.) $Zn(BO_2)_2$ მინისებრი ნაღნობი
2	CMB-1	313 – 338 373 – 573 573 – 773 773 – 1123 მეტია 1173	+ - - - -	$H_3BO_3, MnO, CuO, Cu_2O,$ HBO_2, MnO, CuO, Cu_2O B_2O_3 (კრ), MnO, CuO, Cu_2O MnO_2, Mn_2O_3 MnO, CuO, Cu_2O CuB_2O_4, MnB_2O_4 ნაღნობი (ამორფული ნივთიერება)

საკვლევი სისტემების ZMB და CMB სერიის მინების სინთეზი განხორციელდა შესაბამისად 1100 და 1050°C-ზე როდესაც მაქსიმალურ ტემპერატურაზე დაყოვნების დრო 45-60 წუთს შეადგენდა. ZMB-სერიის მინები ზედაპირულად და მასაში შავი ფერისა, ხოლო CMB-სერიის მინები კი მასაში შავია, მაგრამ მათ ზედაპირზე დაფიქსირდა თხელი (შუქამრეკლი) აფსკის არსებობა. აღნიშნული მინების ნაღნობების ყალიბებში გადმოსხმით (შემდგომი მოწვის პროცესის 470-500°C ჩატარებით) ან წყალზე ფრიტირებით და შემდგომი დაქუცმაცება-გაცრით განხორციელდა საკვლევი ნიმუშების მომზადება.

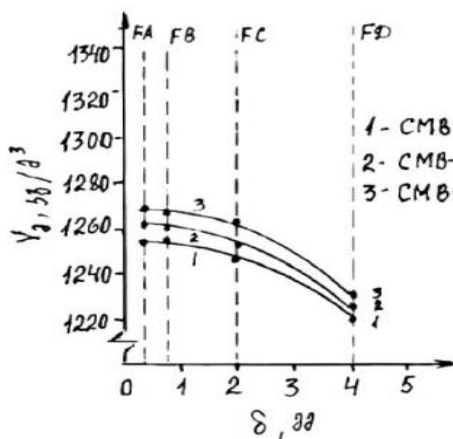
მიღებულ მინებს განესაზღვრათ სიმკვრივე, რომლის შედეგები წარმოდგენილია მე-2 ნახაზზე. აღსანიშნავია, რომ საკვლევი სამკომპონენტური სისტემის აღმოსავალ ორკომპონენტთან 50 მოლ.% MnO და 50 მოლ.% B₂O₃ შედგენილობის მინებში MnO-ს ჩანაცვლება ZnO ან CuO-თი იწვევს მინების

სიმკვრივეთა ზრდას, რაც კარგ შესატყვისობაშია შესაბამისი ოქსიდების მოლურ მასას შორის არსებულ სხვაობასთან ($M_{MnO}=70.9$; $M_{CuO}=79.5$; $M_{ZnO}=81.4$) ზოგადად, საკვლევი მინების სიმკვრივე დაახლოებით 2425-2470 კგ./მ³ (2.43-2.47 გრ/სმ³) ზღვრებში იცვლება.

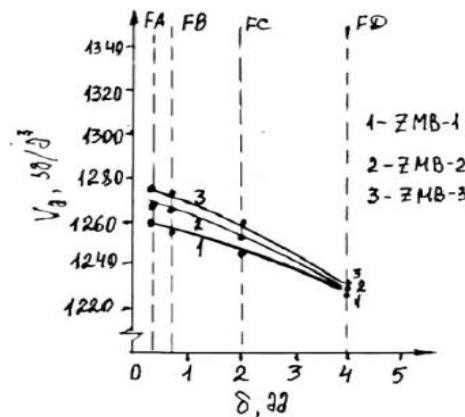


ნახაზი 2 . ZMB და CMB სერიის მინების სიმკვრივეზე შედგენილობის გავლენა

აღნიშნული მასალების 0,1-დან 5 მმ-მდე მარცვლებისათვის (6 შედგენილობა, თითოეულისათვის 4 ფრაქცია) განისაზღვრა ნაყარი სიმკვრივე (მოცულობითი მასა, კგ/მ³) ჩატარებული ექსპერიმენტის შედეგები წარმოდგენილია მე-3 და მე-4 ნახაზებზე.



ნახაზი 3.
CuO-MnO-B₂O₃ კომპოზიციის CMB შედგენილობის მინების ფრაქციულობის გავლენა მათ ნაყარ სიმკვრივეზე



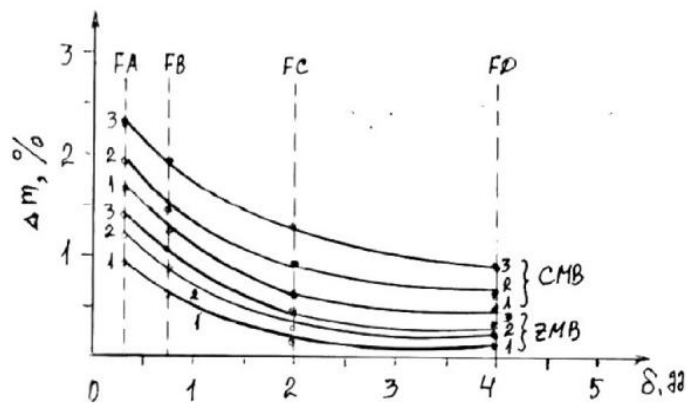
ნახაზი 4.
ZnO-MnO-B₂O₃ კომპოზიციის ZMB შედგენილობის მინების ფრაქციულობის გავლენა მათ ნაყარ სიმკვრივეზე

ჩატარებული ექსპერიმენტით ირკვევა, რომ (როგორც მოსალოდნელი იყო) მინის მარცვლების ზომა განსაზღვრავს ცალკეული ფრაქციულობის მასალების ნაყარი მასის სიდიდეს, რაც ნაკლებია მარცვლების ზომა (ცალკეულ ფრაქციაში), მით მეტია მოცულობითი სიმკვრივე. ამავე დროს, ფიქსირდება შედგენილობის გავლენა მოცულობითი სიმკვრის სიდიდეებზე და ის დამოკიდებულია: მინების შედგენილობაზე (ZMB-სერიის მინები ხასიათდებიან უფრო მაღალი $V_{\text{ფ}}$ -მნიშვნელობებით, ვიდრე CMB-სერიის მინები) და შესაბამისად მინების სიმკვრივეზე.

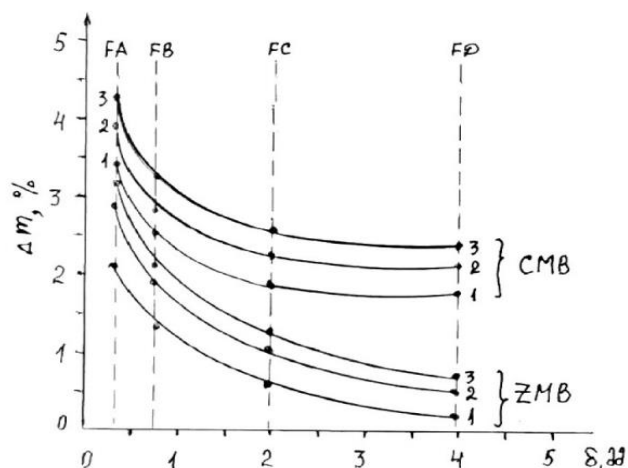
მიღებული მინების პროლონგური ხასიათის მიკროსასუქების სახით გამოყენების დასადგენად ჩვენს მიერ ჩატარდა ექსპერიმენტული ხასიათის სამუშაო, რომლითაც გამოვლინდა მიღებულ მასალათა წამყვანი თვისებების-მათში შემავალი მიკროელემენტების ხსნარებში გადასვლის ტესტირება. აღნიშნულ თვისებას უნდა გამოვევლინა მიღებული მასალების ქმედების პროლონგური ხასიათი და განსხვავებული ხასიათის ნიადაგში პოტენციური ხსნადობის შესაძლებლობა. აღნიშნულითან დაკავშირებით საჭირო გახდა მიღებული მასალების ხსნადობის განსაზღვრა განსხვავებული ბუნების სატესტო რეაგენტებში და კიდევ ერთი ფაქტორის დადგენა-როგორია მიღებულ მასალათა რეაგენტებში ხსნადობა უკვე მასალის მარცვლების ზომებიდან (ფრაქციულობიდან) გამომდინარე ცნობილია, რომ მყარი ფორმის მიკროსასუქების ტესტირების პირობები განისაზღვრება ნიადაგის pH-ის შესაძლო მნიშვნელობიდან გამომდინარე. ასევე ცნობილია, რომ ნიადაგის სახეობა პირობითად ძირითად ორ ჯგუფად იყოფა- მჟავა და ტუტე ხასიათის. აქედან გამომდინარე, მყარი ფორმის მიკროსასუქებიან ნიადაგში ხსნადობასა და შესაბამისად მცენარეთა ათვისებადობის შესაფასებლად მირებულია მათი სუსტი მჟავა და სუსტი ტუტე გარემოში ტესტირება. ამისათვის, რეკომენდირებულია შესაბამისად 2% ლიმონის მჟავასა (pH \approx 4) და 0,1N ნატრიუმის ტუტის (pH \approx 9) ხსნარების გამოყენება.

რეაგენტების ტემპერატურა ცდის ჩატარებისას შეადგენდა $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$, ხოლო რეაგენტების ზემოქმედების დრო შედარებით კვლევებში 2 საათით

განისაზღვრა. ცდები ჩატარდა 50მლ. ტევადობის მინის ქიმიურ ჭურჭელში, რომელშიც განთავსდებოდა გარკვეული ფრაქციულობის წინასწარ აწონილი ფხვნილის ულუფა დაახლოებით 2-5 გრამის ოდენობით. ცალკეული ფრაქციულობის მასალათა ქცევა სატესტო რეაგენტებში განისაზღვრა მასალათა ფრაქციულობის სატესტო რეაგენტებში წონის (მასის) დამაკარგვებით (Δm , %). სატესტო ხსნარებში სხვადასხვა შედგენილობის მინების მდგრადობის/ხსნადობის შესწავლის შედეგები მოყვანილია მე-5 და მე-6 ნახაზზე.



ნახაზი 5. თუთიისა (სერია ZMB) და სპილენძის (სერია CMB) ოქსიდების შემცველი ბორმანგანუმისანი მინების მარცვლების ხსნადობა 2% ლიმონწყავას ხსნარში



ნახაზი 6. თუთიისა (ZMB) და სპილენძის (CMB) ოქსიდების RO-MnO-B₂O₃ სისტემის მინების მარცვლების ხსნადობა 0.1 N NaOH-ის ხსნარში

მიღებული შედეგების საფუძველზე შეიძლება გაკეთდეს შემდეგი დასკვნები: $\text{CuO-MnO-B}_2\text{O}_3$ სისტემის მინამასალების ხსნადობა ორივე (მჟავა და ტუტე) სახის რეაგენტში, $\text{ZnO-MnO-B}_2\text{O}_3$ სისტემის იდენტური შემადგენლობის მინამასალებთან შედარებით, მაღალია და დაახლოებით ორჯერ მეტია.

ორივე სახის სატესტო რეაგენტში ხსნადობას განსაზღვრავს მინამასალების მარცვლების ზომა, რადგან მათი ფრაქციულობის ზრდა მნიშვნელოვნად ამცირებს მასალათა დანაკარგის სიდიდებს. შედეგების შეჯერებით: მიღებულ მასალათა სატესტო რეაგენტებში ხსნადობის რეგულირება შესაძლებელია მინამასალის ქიმიური და გრანულო-მეტრიული შედგენილობის ცვლით.

ექსპერიმენტული კვლევის კიდევ ერთი მიმართულება ითვალისწინებდა საცდელი მასალების წონის დანაკარგების (ხსნადობა, %) დადგენას მათი ხანგრძლივი დროით სატესტო რეაგენტებში დამუშავებისას. ამ მიმართულებით კვლევა ჩატარდა ოთხ შედგენილობასთან მიმართებაში რომლებშიც 10 და 40 მოლ.% CuO ან ZnO იყო წარმოდგენილი (შედგენილობები ZMB-1, ZMB-3, და CMB-1, CMB-3). კვლევის შედეგები, რომლებიც ასახავენ ერთნაირ ფრაქციულობას მინის ხსნადობას ლიმონმჟავას 2%-იან ხსნარში წარმოდგენილია მე-4 ცხრილში.

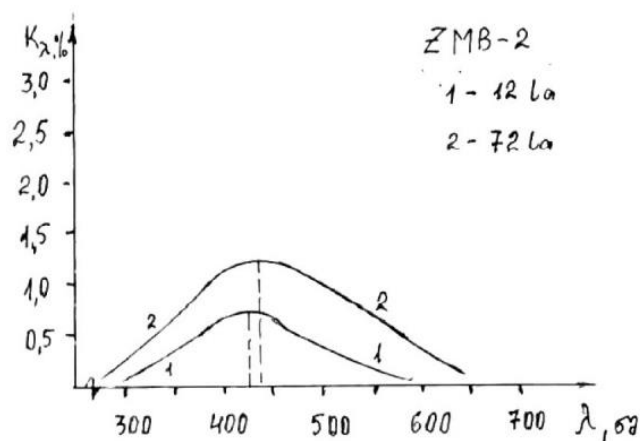
ცხრილი 4. საკვლევი მინამასალების ტესტურ რეაგენტში ხანგრძლივი დამუშავების შედეგები (მასალის ფრაქციულობა $\delta=1-3$ მმ)

შედგენილობის ინდექსი	ტესტურ რეაგენტში (2%-იანი ლიმონმჟავა) წონის დანაკარგები %				
	რეაგენტში დამუშავების ხანგრძლივობა, სთ				
	12	24	48	72	96
ZMB – 1	0,44	0,78	2,31	3,10	4,94
ZMB – 3	1,68	2,94	3,98	4,27	6,21
CMB – 1	1,05	1,81	2,02	9,58	13,86
CMB – 3	6,32	8,21	12,46	14,33	18,74

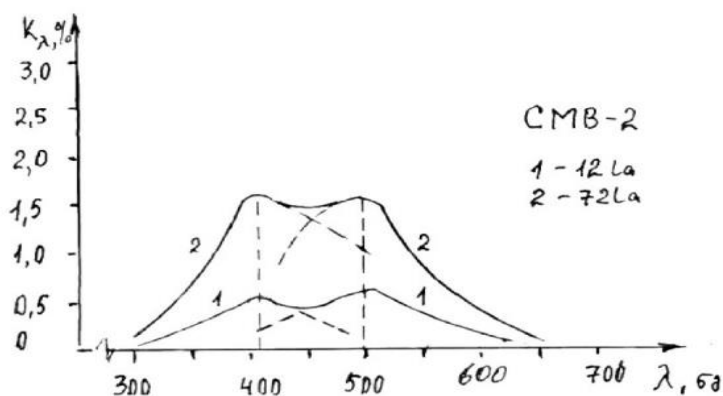
ექსპერიმენტის შედეგების მიხედვით სატესტო რეაგენტის ზემოქმედების დრო (12, 24, 48, 72 და 96 საათიანი დაყოვნება სატესტო რეაგენტში) პროპორციულად არ ზრდის მასალათა ხსნადობას (სტატიკური დაყოვნების პირობებში), მაგრამ წონის დანაკარგების ტენდენცია, რეაგენტის ზემოქმედებისას, არსებობს და ის საკმაოდ მნიშვნელოვანია. ამავე დროს დადგინდა, რომ თუთიის შემცველი მინის ფხვნილები თითქმის 2,5-3 ჯერ უფრო დაბალი ხსნადობით გამოიჩევიან, ვიდრე მათი სპილენძშემცველი ანალოგები.

საკვლევი მინის ფხვნილების ლიმონმჟავას ხსნარში ტესტირებისას წარმოქმნილი ხსნარები შეფერილი იყო. კერძოდ, CMB მინის ფხვნილების ხსნადობის შედეგად წარმოქმნილი ნარჩენი ხსნარი მღვრიე (არაერთგვაროვანი) სუსტად მოვარდისფრო-მომწვანო შეფერილობის, ხოლო თუთიის ოქსიდის მანგანუმბორატული მინები-მოვარდისფრო ფერის ხსნარებს წარმოქმნიან. ამავე დროს, სატესტო რეაგენტში ფხვნილების დაყოვნების ზრდა იწვევს ხსნარის ფერის ინტენსივობის ზრდას, ე.ი. შეფერილობა უფრო მკაფიო ხდება. აღნიშნული გარემოება უნდა უკავშირდებოდეს მინის ფხვნილში (მინის შედგენილობაში) არსებულ სამი სახის პოლივალენტური ელემენტების (Cu, Mn, Zn) ლიმონმჟავასთან ურთიერთობას, შესაბამისი ნაერთების (ციტრატების) წარმოქმნით.

ამ მიმართულებით ჩატარდა კვლევა, რომელიც განხორციელდა ორი სახის მინებზე (ZMB-2 და CMB-2), მათზე 2%-იანი ლიმონმჟავას ზემოქმედებით 12 და 72 სთ-ის განმავლობაში მიღებული ნარჩენი (ფილტრში გასული) ხსნარების გამოყენებით. სპექტრული მრუდები მიღებულ იქნა „λ-2“ სპექტრომეტრზე 350-750 ნმ. ტალღის სიგრძის სპექტრულ, ე.წ ხილვად დიაპაზონში (ნახაზი 7 და 8).



ნახაზი 7. ZMB-2 შედგენილობის მინის ლიმონმჟავას ხსნარში ტესტირებისას წარმოქმნილი ნარჩენი ხსნარის სპექტრული მრუდი 1-დამუშავება 12 სთ; 2-დამუშავება 72 სთ



ნახაზი 8. CMB-2 შედგენილობის მინის 2% ლიმონმჟავას ხსნარში ტესტირებისას წარმოქმნილი ნარჩენი ხსნარის სპექტრული მრუდი 1-დამუშავება 12 სთ; 2-დამუშავება 72 სთ

სპექტრალური მრუდების „ $K_{\lambda}-\lambda$ ” (შთანთქმის კოეფიციენტი - ტალღის სიგრძე) დამოკიდებულებების სვლა და ინტენსივობა გვიჩვენებს, რომ ZMB-2 მინის შემთხვევაში მკაფიოდ დაფიქსირდება მანგანუმის იონის (Mn^{2+}) ხსნარში არსებობა, რომლის შემცველობა იზრდება დამუშავების ხანგრძლივობიდან გამომდინარე (K_{λ} - და 0.75 დან 1.3-მდე) Mn^{2+} -სათვის დამახასიათებელი $\approx 410-420$ ნმ. ტალღის სიგრძისათვის.

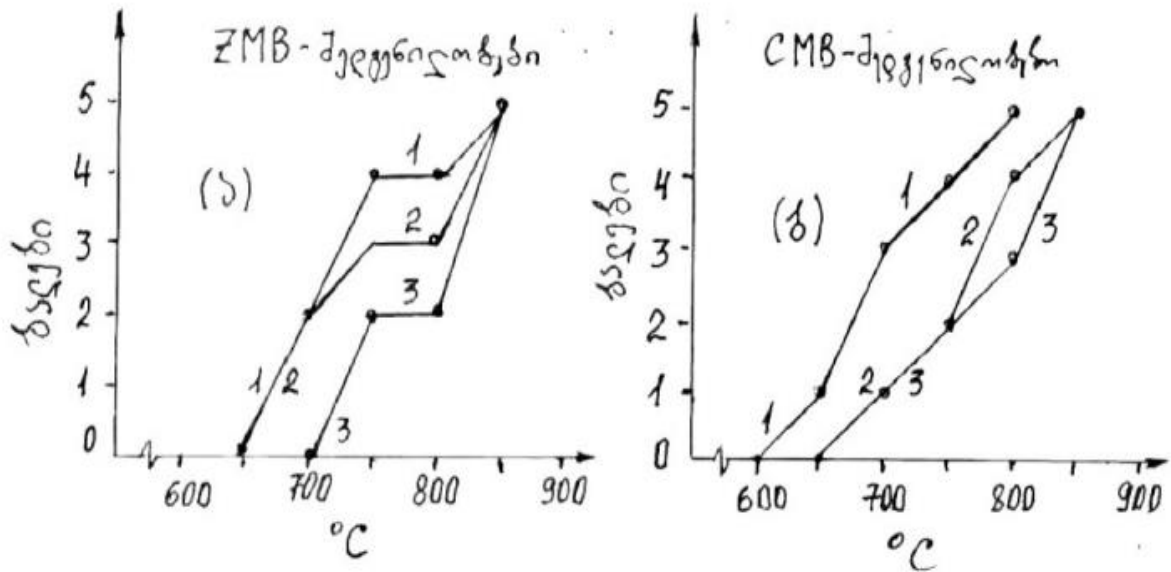
რაც შეეხება CMB-2 (Cu, Mn, და B-ის) მასალას სატესტო ხსნარებში დამუშავებით მიღებულ ფოლტრატს, სპექტრი რთულია და გვერდიგვერდ განლაგებულ ორ არამკაფიოდ გამოხატულ მონაკვეთს მოიცავს. ეს მონაკვეთი აერთიანებს 400-520 ნმ. სიგრძის ტალღების უბანს. აღნიშნულ უბანში გამოვყოფდით ≈ 420 და ≈ 505 ნმ.-ებზე მდებარე მაქსიმუმებს. ერთი მათგანი იისფერ სპექტრშია (400-420 ნმ.) განლაგებული, ხოლო მეორე სპექტრის მწვანე ველში, თუმცა „K α - λ “ მრუდის შემადგენელია (რიგით მეორე გრძელტალღოვანი) 450-დან 550 ნმ. სიგრძის ტალღების უბანს მოიცავს, ე.ი. მასში შეიძლება ლურჯი შეფერილობაც არსებობდეს. მწვანე-ლურჯი შეფერილობა კი ხსნარში სპილენძის ნაერთების არსებობაზე უნდა მიუთითებდეს.

ZMB-2 შედგენილობის შემთხვევაში, მისი და ლიმონწყავას ურთიერთქმედებით წარმოქმნილი ხსნარის სპექტრულ მრუდზე მხოლოდ ერთი მაქსიმუმი ფიქსირდება (პიკი 410-420 ნმ. სიგრძის ტალღების უბანზე მოდის), ამ შემთხვევაში ადგილი უნდა ქონდეს ხსნარში მანგანუმის იონების არსებობას ე.ი მათ მინიდან „გამოყვანის“.

მინის ლიმონწყავას ხსნარით დამუშავების ხანგრძლივობის ზრდა 12-დან 72 სთ-მდე ზრდის შთანთქმის კოეფიციენტის (K λ) მნიშვნელობას. ე.ი. პოლივალენტური ელემენტების კონცენტრაციის ზრდას. აქედან შეიძლება ითქვას, რომ საკვლევი მინები იშლება თანდათანობით და მოსალოდნელია მათი ხანგრძლივი „მუშაობა“ (პროლონგურობა) მიკრო-ელემენტშემცველ მასალის სახით.

საკვლევი ZMB და CMB-სერიის მინებზე სატესტო რეაგენტების ზემოქმედების შესწავლით დადგინდა, რომ ისინი საკმაოდ ხსნადები არიან, რადგან 4 დღიანი დაყოვნება სატესტო ხსნარში დაახლოებით 5-10 %-მდე წონის დანაკარგებს განაპირობებს (ცხრილი 4). მიღებულ მასალათა პროლონგურობის გაზრდის მიზნით განხორციელდა მათი მიზნობრივი გარდაქმნა მინაკრისტალურ ანუ კომპოზიტურ მასალაში. გარდაქმნის ოპტიმალურ გზად მიჩნეული იქნა მინების 9ამორფული მასალა) გარდაქმნა

მინაკრისტალურ (კომპოზიტურ) მასალაში მათი მიზნობრივი დაკრისტალების გზით. ამისათვის განხორციელდა საკვლევ მიწების დაკრისტალების უნარის შესწავლა შეფასება 600-900°C ტემპერატურულ ინტერვალში (ტემპერატურის ბიჯი 50°C, დაყოვნება 1 სთ.) კვლევის შედეგები წარმოდგენილია მე-9 ნახაზზე.



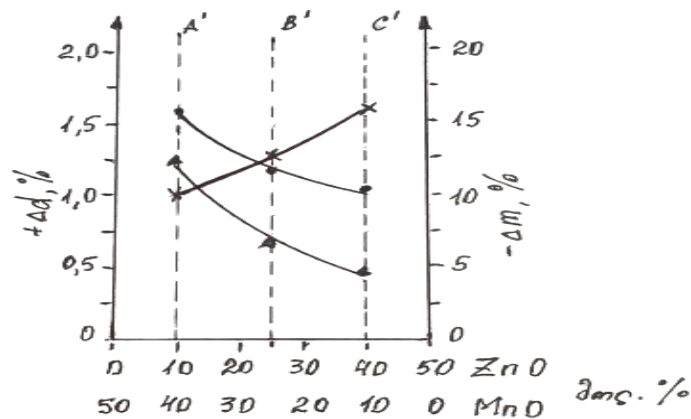
ნახაზი 9 . $ZnO-MnO-B_2O_3$ (ა) და $CuO-MnO-B_2O_3$ (ბ) საკვლევ მიწების დაკრისტალების უნარი

ბალები: 0-მინა უცვლელია; 1-ზედაპირული კრისტ. აფსკვი; 2- ზედაპირული კრისტ.ქერქი; 3-კრისტალები მოცულობაში 70%-მდე; 4- -კრისტალები მოცულობაში 90%-მდე; 5- მინისებრი ნადნობი.

მინების კრისტალიზაციური უნარის შესწავლით დადგინდა, რომ თუთიის ოქსიდის შემცველი ზოგიერთი მანგანუმბორატული მინები ინტენსიურად კრისტალდებიან (3 და 4 ბალი) 750-825 °C ტემპერატურულ ინტერვალში, ხოლო მათი ლობა 850°C -ზე მიიღწევა. ამასთან, კრისტალიზაციის უნარის ზრდის მიხედვით ZMB - სერიის სამივე შესწავლილი მინა შემდეგი მწკრივის სახით შეიძლება წარმოვდგინოთ: $ZMB-1 > ZMB-2 > ZMB-3$ ე.ი. 50 მოლ.% B_2O_3 შემცველობის მუდმოვობისას, მინის შედგენილობებში MnO -ს ჩანაცვლება ZnO -თი ამცირებს მინების კრისტალურ უნარს (ნახაზი 15ა). განსხვავებული სურათი მიღებულ

იქნა CuO-MnO-B₂O₃ კომპოზიციის CMB სერიის მინების შემთხვევაში. აქ ადგილი აქვს სრული კრისტალიზაციის (4 ბალი) არსებობას, ორი CMB-2 და CMB-3 შედგენილობისათვის 750-800°C -ზე, როდესაც CuO-ს რაოდენობის ზრდა, MnO-ს სანაცვლოდ, ზრდის კრისტალიზაციურ უნარს. ამ შემთხვევაშიც, დაკრისტალებული მასალების სრული გამინება (ლღობა) 800-850 °C ინტერვალში მიიღწევა. ამავე დროს კრისტალიზაციის დაწყების ტემპერატურები CMB - შემადგენლობებისათვის უფრო დაბალ ტემპერატურაზე ხდება (700-750 °C). კრისტალიზაციისადმი მიდრეკილების მხრივ გარკვეულ მსგავსებას ავლენენ CMB-2 და CMB-3 შემადგენლობები. მიღებული შედეგების საფუძველზე კრისტალიზაციის უნარის ზრდის მიხედვით, CMB სერიის მინები შემდეგი მწკრივის სახით შეიძლება ჩაიწეროს: CMB-2>CMB-3>CMB-1 (ნახაზი 15ბ.)

საკვლევად აღებულ იქნა 750 °C-ზე 1სთ-ის განმავლობაში დაკრისტალებული მინები, რომელთა თვისებები მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან საწყის მინებთან შედარებით. აღნიშნული დასტურდება CMB (ნახ.10) და ZMB (ნახ.11) თვისებათა ცვლის (შედგენილობას დაკავშირებული) ამსახველი გრაფიკული მასალით.

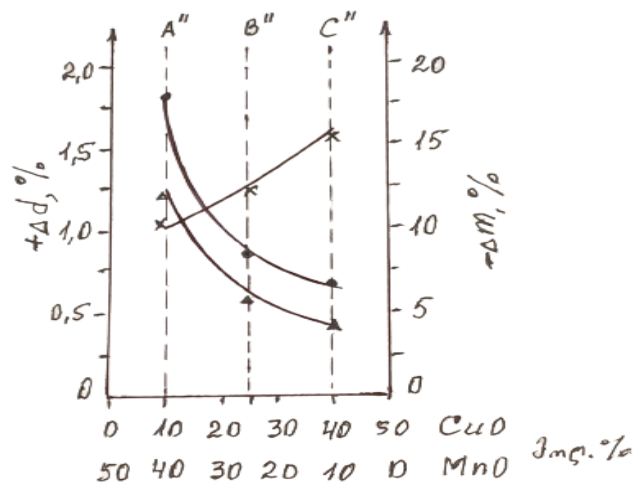


ნახაზი 10. ZMB სერიის მინების ($n_{s0}=2.66$) დაკრისტალებით გამოწვეულ თვისებათა ცვლილება

A' – (CMB-1); B' – (CMB-2); C' – (CMB-3)

•- სიმკვრივის Δd ცვლილება; X-წონის დანაკარგები Δm 2%-იან ლიმონწყავაში

Δ - წონის დანაკარგები (Δm) 0,1N NaOH



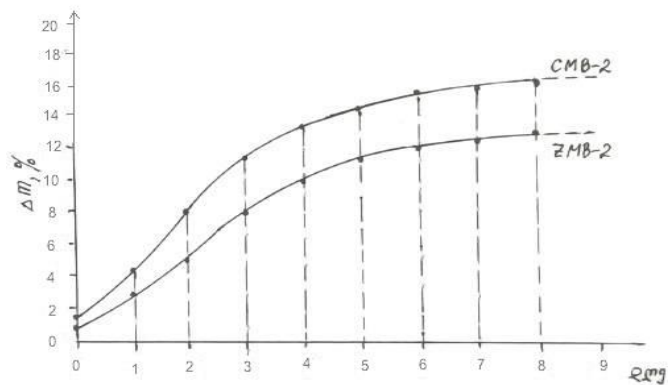
ნახაზი 11. CMB სერიის მინების ($d_{50}=2\text{მმ}$) დაკრისტალებით გამოწვეულ თვისებათა ცვლილება

A^{II} – (CMB-1); B^{II} – (CMB-2); C^{II} – (CMB-3)

- სიმკვრივის Δd ცვლილება; X-წონის დანაკარგები Δm 2%-იან ლიმონმჟავაში

Δ - წონის დანაკარგები (Δm) 0,1N NaOH

საწყისი სამ-სამი ZMB და CMB სერიის მინების დაკრისტალებით გამოწვეულ სიმკვრივეთა ცვლილება ძირითადად უკავშირდება დაკრისტალების ხარისხს. კერძოდ, ZMB სერიის მინებისთვის დაკრისტალების ხარისხის ცვლილება (ნახ. 9) შემდეგი მწკრივით შეიძლება იქნას წარმოდგენილი: ZMB-1 (4 ბალი) - ZMB-2 (3 ბალი) - ZMB-3 (2 ბალი) რომელიც შეესატყვისება სიმკვრივის სიდიდეთა ცვლილებას (მატება), რაც შეადგენს 1.6-დან 1.0-მდე პროცენტს. CMB სერიის მინების შემთხვევაში იგივე კანონზომიერება შეიმჩნევა: CMB-1 (4 ბალი) - CMB-2 (2 ბალი) - CMB-3 (2 ბალი) მაგრამ, ამ შემთხვევაში დაკრისტალება მნიშვნელოვნად ზრდის სიმკვრივეს CMB-1-ის შემთხვევაში (1,8 %-ით). როდესაც კრისტალიზაციისადმი ნაკლებად მიდრეკილი CMB-2 და CMB-3 შედგენილობებისთვის ეს სხვაობა დაბალია (შესაბამისად, 0,8 და 0,7 %-ს შეადგენს).



ნახაზი 12. ZMB-2 და CMB-2 შედგენილობების კომპოზიტების ხსნადობის კინეტიკა 2%-ან ლიმონმჟავას ხსნარში

კვლევებით დადგინდა, რომ მინების მაღალტემპერატურული დამუშავებით კომპოზიტურ/მინაკრისტალურ მასალაში გარდაქმნა იწვევს ახალი მასალების განსხვავებულ ხსნადობას ტესტურ რეაგენტებში. ამ მიმართულებით ჩატარდა სპეციალური მიზნობრივი კვლევა CMB-2 და ZMB-2 შედგენილობის მინებთან მიმართებაში. აღნიშნული შედგენილობის მინები მიზნობრივად დაკრისტალდა (750 °C, 2სთ) და მათ ფხვნილებს (δ_{საშ}=2,0მმ) ჩაუტარდა ტესტირება 2%-ან ლიმონმჟავაში. დაყოვნების მაქსიმალური დრო იყო 8 დღე (192 სთ). ორი კომპოზიტის ფხვნილების ცალკეული ულუფების ტესტურ რეაგენტში ხსნადობის პროცესის (კინეტიკის) შესწავლით დადგინდა, რომ ლიმონმჟავას ხსნარში, შესწავლის მთელი პერიოდისთვის, ZMB-2-თან შედარებით უკეთესი ხსნადობით გამოირჩევა CMB-2 შედგენილობა, ხოლო მათი ხსნადობით გამოწვეული დანაკარგების ზრდის ტენდენციის კლება შეიმჩნევა მე-6 დღიდან დაწყებული. ZMB შედგენილობის კომპოზიტი ნაკლებად ხსნადია, ხოლო ხსნადობის შენელება მე-7 დღიდან შეიმჩნევა. ზოგადად კი ხსნადობა გრძელდება, თუმცა უმნიშვნელოდ, კვლევის ციკლის 8 დღიანი ინტერვალის შემდეგაც. აღნიშნული მასალის პროლონგური ხსნადობის ზრდის მაჩვენებელია-8 დღეში დანაკარგები არ აღემატებოდა 15%-ს,

როდესაც საწყის მინების შემთხვევაში ეს მნიშვნელობა მიიღწევა ტესტურ რეაგენტებში დამუშავების მე-4 დღეს. ე.ი. მინების დაკრისტალებით შესაძლებელია კომპოზიტების მიღება, რომელთა ხსნადობა საწყის მინებთან შედარებით სულ ცოტა 2-ჯერ ნაკლებია.

დასკვნა

1. ოთხი ესენციალური მიკროელემენტის (Zn, Cu, Mn, B) შემცველი და პროლონგური ქმედების მიკროსასუქების მიღების მიზნით, ორ სამკომპონენტთან ZnO-MnO-B₂O₃ და CuO-MnO-B₂O₃ სისტემაში განხორციელდა მინების სინთეზი 1050-1100°C-ზე
2. შესწავლილ იქნა CuO და ZnO შემცველი ბორმანგანუმისანი მინის კაზმებში მიმდინარე პროცესები. თერმული ანალიზისა და რენდგენოფაზური ანალიზის კვლევის მეთოდების გამოყენებით დადგინდა, რომ 500-900°C ინტერვალში წარმოიქმნება მიკროელემენტშემცველი ნაერთების ფართო სპექტრი: თუთიის, მანგანუმისა და სპილენძის დიბორატები, ტეტრაბორატები, სპილენძის მანგანიტები და სხვ.
3. დადგინდა, რომ საკვლევი მინების სიმკვრივე დამოკიდებულია მინების შედგენილობაზე და 2425-2470 კგ./მ³ ზღვრებში იცვლება, ამასთან ZnO-MnO-B₂O₃ კომპოზიციის მინები, CuO-MnO-B₂O₃ შედგენილობის მინებთან შედარებით, უფრო მაღალი სიმკვრივით გამოირჩევიან.
4. სხვადასხვა ფრაქციულობის მინებისათვის დადგინდა, რომ მათი მოცულობითი მასა 0.1-5.0 მმ ფრაქციებისათვის 1220-დან 1275 კგ./მ³ შეადგენს და ამასთან ნაყარი სიმკვრივის ზრდას განაპირობებს მარცვლების გრანულომეტრიული შემცველობა და მინების სიმკვრივეთა მნიშვნელობები.
5. მინების ხსნადობაზე ტესტირებამ 2% ლიმონჟავას და 0.1N NaOH ხსნარებში აჩვენა, რომ ზოგადად ისინი დაახლოებით ორჯერ უფრო მდგრადია მჟავა გარემოში, ვიდრე ტუტეებში. ამასთან, ZnO-MnO-B₂O₃ სისტემის მინები უფრო მდგრადია სატესტო რეაგენტების მიმართ, ვიდრე CuO-MnO-B₂O₃ სისტემაში მიღებული მინები.
6. დადგინდა, რომ იდენტურ პირობებში (ტემპერატურა, დრო) სატესტო რეაგენტებში მინის ფხვნილების ხსნადობას, მათ შედგენილობათა მიუხედავად, განსაზღვრავს მინა-მასალების ფრაქციულობა, კერძოდ,

მარცვლების ზომის ზრდა მნიშვნელოვნად (3-4-ჯერ) ამცირებს რეაგენტებში მასალათა ხსნადობას, რაც მიღებული მინამასალის შედგენილობისა და ფრაქციულობის შერჩევით, მათი რეაგენტებში ხსნადობის დროის (პროლონგურობის) რეგულირების საშუალებას იძლევა.

7. სატესტო რეაგენტში ხანგრძლივი (96 სთ-მდე)დროით მიკროელემენტ შემცველი მინების დაყოვნებით დადგინდა, რომ მათი ფხვნილების დანაკარგების ზრდის ტენდენცია საკმაოდ მნიშვნელოვანია თუთიის შემცველი მანგანუმბორატული მინებისათვის, რომელთა ხსნადობა 2,5-3-ჯერ უფრო მაღალია იდენტური შედგენილობის სპილენძის შემცველ კომპოზიციაში მიღებულ მინასთან შედარებით.
8. დადგინდა, რომ მინის ფხვნილების ლიმონმჟავას ხსნარში ტესტირებისას მიღებული ხსნარი სხვადასხვა ფერისაა: $ZnO-MnO-B_2O_3$ კომპოზიციაში მოვარდისფრო, ხოლო $CuO-MnO-B_2O_3$ -ს შემთხვევაში მოლურჯო-მომწვანო შეფერილობისა. აღნიშნული უკავშირდება ტესტურ რეაგენტში მიკროელემენტების ციტრატების გადასვლას. მიზნობრივად ჩატარებული ხსნარების სპექტრალური ანალიზით დასტურდება ხსნარებში Cu^{2+} და Mn^{2+} იონების არსებობა.
9. სინთეზირებული მინების სატესტო რეაგენტებში მდგრადობის განსაზღვრის მიზნით განხორციელდა $(10-40)ZnO \cdot (40-10)MnO \cdot 50B_2O_3$ და $(10-40)CuO \cdot (40-10)MnO \cdot 50B_2O_3$ შედგენილობის მინების დაკრისტალეზა $600-900^{\circ}C$ ტემპერატურულ ინტერვალში. დადგინდა თერმული დამუშავების ოპტიმალური პარამეტრები ($750-800^{\circ}C$; 1-2 სთ, რომლებიც უზრუნველყოფენ საწყისი მინების მოცულობით დაკრისტალეზას და მინაკრისტალურ/კომპოზიტურ მასალაში გარდაქმნას.
10. მინების მიზნობრივი კრისტალიზაციის შედეგად მიღებულია მინაკრისტალური/კომპოზიტური მასალები, რომლებიც ხასიათდება საწყისი მინებიდან განსხვავებული თვისებებით, რაც აისახა სიმკვრივის

ზრდაში (3-4%-ით), სატესტო რეაგენტებში ხსნადობის შემცირებით (15-20%-ით კლება).

11. დადგინდა, რომ სამკომპონენტო შედგენილობის კაზმის შეცხოვისა და ლღობა-კრისტალიზაციის პროცესების ჩატარებით შესაძლებელია ფუნქციონალურად განსხვავებული მიკროელემენტშემცველი (Zn, Mn, Cu, B) მასალების მიღება. ასეთი მასალები ხასიათდება თავისი არაერთგვაროვანი სტრუქტურული მოწყობით და მათში შემავალ ფაზათა მრავალსახეობით (ამორფული შემადგენელი, სხვადასხვა შედგენილობის ბორატები და მანგანიტები), რომლებიც მხოლოდ მათთვის დამახასიათებელი თვისებების (მათ შორის ხსნადობის) მატარებელნი არიან.
12. საწყისი კაზმების და მათ საფუძველზე მიღებული მინამასალის შედგენილობისა და სახეობათა მრავალფეროვნება, თერმული დამუშავებით მათი გარდაქმნა, ფრაქციულობისა და შესაბამისად თვისებათა პროგნოზირებადი ტრანსფორმაცია შესაძლებელს გახდის პერსპექტივაში ოთხი მიკროელემენტშემცველი $ZnO - CuO - MnO - B_2O_3$ კომპოზიციაში კომპლექსური შედგენილობის პროლონგური და ამავე დროს შერჩევითი/რეგულირებადი ხსნადობის, აგრარული დანიშნულების და ეკოლოგიურად მისაღები მასალების მიღებას.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები წარმოდგენილია
შემდეგ პუბლიკაციებში

1. ზაქარაია მ., მშვილდაძე მ., ჭეიშვილი თ. პროლონგური ქმედების მიკროსასუქების მიღება თუთიისა და სპილენძის ბორმანგანუმთან სისტემურ კომპოზიციებში და მათი შესწავლა, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება“, შრომები, 2020 წ. გვ.:317-322
2. მ.ზაქარაია, მ. მშვილდაძე, თ. ჭეიშვილი მიკროელემენტუმცველ მოდელურ კომპოზიციებში ფუნქციური დანიშნულების მინამასალების მიღება, საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის ჟურნალი „კერამიკა და მოწინავე ტექნოლოგიები“, 2020 წ., ტომი 22; 2(44) გვ.: 3-7
3. მ. ზაქარაია , პოლიმიკროელემენტუმცველ კომპოზიციაში მიღებული მასალების მახასიათებელი თვისებების დადგნა, საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის ჟურნალი „კერამიკა და მოწინავე ტექნოლოგიები“, 2021 წ., ტომი 23; 1(44) გვ.: 28-34
4. თ. ჭეიშვილი, მ. მშვილდაძე, მ.ზაქარაია. $ZnO(CuO)-MnO-B_2O_3$ სისტემაში მიღებული მინამასალების ტესტურ რეაგენტებში ხსნადობის პროცესის შესწავლა, საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის ჟურნალი „კერამიკა და მოწინავე ტექნოლოგიები“, 2021 წ. ტომი 23; 1(44) გვ.: 92-98

Abstract

In the work to be carried out by us, the goal was set - to obtain a glass material containing several micronutrients and to establish its perspective as a combined micronutrient of pro-long action. The necessity of this was created by the well-known fact that certain types of chemical elements, both in the form of free and chemical compounds, are an integral part of the cells and tissues of a living organism. This is due to their special role in the management of biochemical processes in the body. The main source of microelements in the living organism is plant foods, the content of which cannot always be desired. The reason for this is the depletion of soils and the lack of microelements is compensated by their artificial introduction into the soil. Water-soluble inorganic (sulfates of manganese, cobalt, iron and other trace elements; boric acid, etc.) and organic (so-called chelates: almost all trace elements) micronutrients are widely used, which are widely used for artificial plant nutrition. The effectiveness of these compounds is well known, but they have one common drawback - they are used as solutions and at the same time due to their exceptionally high water solubility (under natural and artificial irrigation conditions) are washed into deep soil layers, "pass" from the plant root zone. Adding to the above are two negative aspects - their use is seasonal and of an annual nature, and their entry into groundwater is a precondition for further contamination of water arteries and reservoirs. This defect does not contain water-soluble and selectively soluble solids containing trace elements.

In the run-up to the acquisition of selectively soluble and at the same time prolonged (long-lasting) microfertilizers due to the nature of the soil, the aim of our study was planned in ways known in glass and ceramics technology and provided for the production of glass or baked materials. Such micronutrient composite materials can be made with granulometry of different porosity and granules, which together with their composition is a general regulating factor of solubility. Based on the technologies of the silicate field and the well-known approaches in the design of glass and glass-bearing materials with the desired properties, we planned an experiment with the aim of obtaining four types of micro-element material glass and composites based on them that could be used as microfertilizer. More specifically, these elements are Zn, Mn, Cu and B, which play an active role in plant growth and fertility.

The research was carried out in several main directions. Initially, it was possible to obtain glasses and use them as microfertilizers, and for this, two three-component systems $\text{ZnO-MnO-B}_2\text{O}_3$ and $\text{CuO-MnO-B}_2\text{O}_3$ were selected, which present three microelements Zn, Mn, B-in the first system and Cu, Mn, B-second. In the system, three components were selected in each system and the processes going on in their caskets were studied by thermal and X-ray analysis methods. The glass was synthesized at a temperature of 1100 ± 50 C. The resulting glasses were

defined by the leading properties: density and bulk volume mass. Experimental work was performed to determine the use of protracted glasses as microfertilizers due to the fractionality of the material, which revealed the solubility of the leading properties of the obtained materials in the test reagents (2% citric acid and 0.1% NaOH). Regarding solubility, it was determined what the solubility in the reagents of the obtained materials is already based on the size (fractionality) of the medal grains. Solubility in both types of test reagents has been found to be determined by the grain size of glass materials when their growth significantly reduces the magnitude of losses in the reagents. By combining the obtained results, the idea is developed that the solubility of test materials in test reagents can be regulated by changing the chemical and granulometric composition of the glass material.

Another area of experimental research was to determine the weight losses (solubility, %) of test materials during their treatment with long-term test reagents. And it's pretty important, that at the same time zinc-containing glass powders had almost 2.5-3 times higher solubility than their copper-containing analogues.

The maximum crystallization temperature range (750-800 0C, delay 1-2 h) was determined for the crystallization glass. The study glasses were transformed into extra-crystalline material-composites. It was found that compared to the original glasses, synthetic composites are characterized by higher density, low solubility in test reagents and unequal solubility kinetics.

The study showed that by conducting baking the pickaxe and sliding-crystallization processes with pseudo-component composition, it is possible to obtain four functionally different micronutrient-containing materials (Zn, Mn, Cu, B). The obtained materials are characterized by their heterogeneous structural arrangement and the variety of phases contained in them (amorphous component, borates and manganese of different compositions), which carry only their characteristic properties (including expected solubility). The diversity of the types of starting casings and the materials obtained from them, the predictable adjustable transformation of their phase composition, fraction and consequently the properties by heat treatment, will enable ZnO-CuO-MnO-B₂O₃ in the composition of four complex microelements Acceptance.