

მაია ზაქარაია

აგროდანიშნულების მიკროელემენტშემცველი
კომპოზიტების მიღება და მათი წყალხსნარებში
ტრანსფორმირების შესწავლა

სადოქტორო პროგრამა: ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერია
შიფრი-0410

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო

საავტორო უფლება ©2022 წელი, ზაქარაია მაია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტი

ჩვენ ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავაცანით მათა ზაქარაიას მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „აგროდანიშნულების მიკროელემენტმცველი კომპოზიტების მიღება და მათი წყალხსნარებში ტრანსფორმირების შესწავლა“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის“ ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს საგამოცდო კომისიაში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

2022წ.

თანახელმძღვანელები: პროფ. თეიმურაზ ჭეიშვილი
პროფ. მათა მშვილდაძე

რეცენზენტი -----

რეცენზენტი -----

რეცენზენტი -----

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2022 წელი

ავტორი: მათა ზაქარაია

დასახელება: „აგროდანიშნულების მიკროელემენტმცველი
კომპოზიტების მიღება და მათი წყალხსნარებში
ტრანსფორმირების შესწავლა“

ფაკულტეტი: ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის

ხარისხი: აკადემიური დოქტორი

სხდომა ჩატარდა:

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემოთ-
მოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის
შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების
უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი
ნაშრომის და არც ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე
მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის
გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო
უფლებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა ის
მცირე ზომის ციტატებისა, რომელიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ
მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია
სამეცნიერო ნაშრომის შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს
პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

ჩვენს მიერ, ჩასატარებელ სამუშაოში, დასახული იქნა მიზანი - რამოდენიმე მიკროელემენტის შემცველი მინისებრი მასალის მიღება და მისი, როგორც პროლონგური ქმედების კომბინირებული მიკროსასუქის, პერსპექტიულობის დადგენა. აღნიშნულის აუცილებლობას ქმნიდა კარგად ცნობილი ფაქტი, რომ ქიმიური ელემენტების გარკვეული სახეობა, როგორც თავისუფალ, ასევე ქიმიურ ნაერთთა სახით წარმოადგენს ცოცხალი ორგანიზმის უჯრედებისა და ქსოვილების განუყრელ ნაწილს. აღნიშნულს განაპირობებს მათი განსაკუთრებული როლი ორგანიზმში მიმდინარე ბიოქიმიურ პროცესების წარმართვაში. მიკროელემენტების ცოცხალ ორგანიზმში მოხვედრის ძირითად წყაროს წარმოადგენს მცენარეული საკვები, რომელშიც მათი შემცველობა ყოველთვის ვერ შეესაბამება სასურველს. აღნიშნულის მიზეზი ნიადაგების გამოფიტვაა და მიკროელემენტების ნაკლებობის კომპენსაცია მათი ნიადაგში ხელოვნური შეტანით ხდება. დღეისათვის ცნობილია წყალხსნადი არაორგანული (მანგანუმის, კობალტის, რკინის და სხვა მიკროელემენტთა სულფატები; ბორის მჟავა და ა.შ.) და ორგანული (ე.წ. ჰელატები: თითქმის ყველა მიკროელემენტის) მიკროსასუქები, რომლებიც ფართოდ გამოიყენება მცენარეთა ხელოვნური კვებისათვის. აღნიშნული ნაერთების ეფექტურობა კარგადაა ცნობილი, მაგრამ მათ გააჩნიათ ერთი საერთო ნაკლი - ისინი ხსნარების სახით გამოიყენება და ამავე დროს გამორჩეულად მაღალი წყალხსნადობის გამო (ბუნებრივი და ხელოვნური მორწყვის პირობებში) ჩაირეცხებიან გრუნტის სიღრმისეულ ფენებში, „გადიან“ მცენარეთა ფესვთა კვების ზონიდან და აქედან ნაკლებად ეფექტურნი ხდებიან. მოყვანილ გარემოებას კიდევ ორი უარყოფითი მხარე ემატება - მათი გამოყენება სეზონური ყოველწლიური ხასიათისაა, ხოლო გრუნტის წყლებში მათი მოხვედრა შემდგომი წყლის არტერიებისა და საცავების დაბინძურების წინაპირობას ქმნის. აღნიშნული ნაკლი არ გააჩნია მიკროელემენტების შემცველ წყალმდეგ და შერჩევითი ხსნადობის მქონე მყარ მასალებს.

პერსპექტივაში ნიადაგის ხასიათიდან გამომდინარე შერჩევითი ხსნადობის მქონე და ამავდროულად პროლონგური (ხანგრძლივი) ქმედების მიკროსასუქების მიღება, რაც ჩვენი კვლევის მიზანს წარმოადგენდა, დაიგეგმა მინის და კერამიკის ტექნოლოგიაში ცნობილი ხერხებით და ითვალისწინებდა მინისებრი ან შეცხოვრილი მასალების მიღებას. ასეთი მიკროელემენტშემცველი კომპოზიტური მასალები სხვადასხვა ფორიანობის და მარცვლების გრანულომეტრიით შეიძლება დამზადდეს, რაც მათ შედგენილობასთან ერთად ზოგადად ხსნადობის მარეგულირებელ ფაქტორს წარმოადგენს. სილიკატური დარგის ტექნოლოგიათა საფუძველზე და სასურველი თვისების მატარებელი მინებისა და მინაკრისტალური მასალების პროექტირებაში არსებული ცნობილი მიდგომების გამოყენებით, ჩვენ მიერ დაიგეგმა ექსპერიმენტი,

რომლის მიზანს წარმოადგენდა ოთხი სახეობის მიკროელემენტუმცველი მასალის მინები და მათ საფუძველზე კომპოზიტების მიღება, რომელიც მიზნობრივად შეიძლება გამოყენებული ყოფილიყო მიკროსასუქის სახით. უფრო კონკრეტულად, ეს ელემენტებია Zn, Mn, Cu და B, რომლებიც აქტიურ როლს ასრულებენ მცენარეთა ზრდა-განვითარებასა და ნაყოფიერებაზე.

კვლევა რამოდენიმე ძირითადი მიმართულებით განხორციელდა. თავდაპირველად დადგინდა მინების მიღებისა და მათი მიკროსასუქად გამოყენების შესაძლებლობა და ამისათვის შერჩეულ იქნა ორი სამკომპონენტური სისტემა $ZnO-MnO-B_2O_3$ და $CuO-MnO-B_2O_3$, რომლებშიც წარმოდგენილია სამ-სამი მიკროელემენტი Zn, Mn, B-პირველ სისტემაში და Cu, Mn, B-მეორე სისტემაში. თითოეულ სისტემაში შეირჩა სამი შედგენილობა და შესწავლილ იქნა მათ კაზმებში მიმდინარე პროცესები თერმული და რენდგენოფაზური ანალიზის მეთოდებით. მინების სინთეზი განხორციელდა 1100 ± 50 C თემპერატურაზე. მიღებულ მინებს განესაზღვრათ წამყვანი თვისებები: სიმკვრივე და ნაყარი მოცულობითი მასა. მასალის ფრაქციულობიდან გამომდინარე მიღებული მინების პროლონგური ხასიათის მიკროსასუქების სახით გამოყენების დასადგენად ჩატარდა ექსპერიმენტული ხასიათის სამუშაო, რომლითაც გამოვლინდა მიღებულ მასალათა წამყვანი თვისებების-მათში შემავალი მიკროელემენტების ტესტურ რეაგენტებში (2% ლიმონმჟავასა და 0,1N NaOH) ხსნადობა. ხსნადობასთან დაკავშირებით დადგინდა როგორია მიღებულ მასალათა რეაგენტებში ხსნადობა უკვე მასალის მარცვლების ზომიდან (ფრაქციულობიდან) გამომდინარე. დადგინდა, რომ ორივე სახის სატესტო რეაგენტში ხსნადობას განსაზღვრავს მინამასალების მარცვლების ზომა, როდესაც მათი ზრდა მნიშვნელოვნად ამცირებს რეაგენტებში დანაკარგის სიდიდეებს. მიღებული შედეგების შეჯერებით ვითარდება მოსაზრება, რომ საკვლევ მასალათა სატესტო რეაგენტებში ხსნადობის რეგულირება შესაძლებელია მინამასალის ქიმიური და გრანულომეტრიული შედგენილობის ცვლით.

ექსპერიმენტული კვლევის კიდევ ერთი მიმართულება ითვალისწინებდა საცდელი მასალების წონის დანაკარგების (ხსნადობა, %) დადგენას მათი ხანგრძლივი დროით სატესტო რეაგენტებში დამუშავებისას. აღნიშნული ექსპერიმენტის შედეგების მიხედვით სატესტო რეაგენტის ზემოქმედების დრო პროპორციულად არ ზრდის მასალათა ხსნადობას (სტატისტიკური დაყოვნების პირობებში), მაგრამ წონის დანაკარგების ტენდენცია, რეაგენტის ზემოქმედებისას არსებობს და ის საკმაოდ მნიშვნელოვანია. ამავე დროს თუთიის შემცველი მინის ფხვნილები თითქმის 2,5-3 ჯერ უფრო მაღალი ხსნადობით გამოიჩევიან, ვიდრე მათი სპილენძშემცველი ანალოგები.

საკვლევ მინებს დაუდგინდათ კრისტალიზაციისადმი მიდრეკილება და მაქსიმალური დაკრისტალეების ტემპერატურული ინტერვალი ($750-800$ C, დაყოვნება 1-2 სთ). განხორციელდა საკვლევ მინების ტრანსფორმირება მინაკრისტალურ მასალაში-კომპოზიტებში. დადგინდა, რომ საწყის მინებთან შედარებით, ხელოვნური კომპოზიტები ხასიათდებიან უფრო

მაღალი სიმკვრივით, დაბალი ხსნადობით ტესტურ რეაგენტებში და არათანაბარი ხსნადობის კინეტიკით.

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

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.

შინაარსი

შესავალი	15
1. ლიტერატურის მიმოხილვა	18
1.1. მიკროელემენტები და მათი მნიშვნელობა მცენარეებისათვის	19
1.2. მიკროელემენტების შემცველობა სხვადასხვა ტიპის ნიადაგებში და მცენარეთა მიერ მათი დაგროვება	22
1.3. ესენციალური მიკროელემენტები და მათი გავლენა ადამიანზე	27
1.4. მიკროსასუქების ნაირსახეობა და მათი დანიშნულება	41
1.5. კვლევის ამოცანები და გადაჭრის გზები	50
2. კვლევა, შედეგები და მათი განსჯა	53
2.1. საკვლევ მასალათა მიღებისა და კვლევის მეთოდები	54
2.1.1. კაზმების შედგენა, მასალათა სინთეზი და კვლევისთვის მომზადება.....	54
2.1.2. მიღებული მასალების ფიზიკური და ტექნოლოგიური თვისებების დადგენა	56
2.1.3. საკვლევ მასალების თერმული და რენდგენოგრაფიული ანალიზი	57
2.2. ექსპერიმენტული კვლევის ჩატარების წინაპირობები და განხორციელების გზები	58

2.3.	საკვლევი მინების შერჩევა და მათი კაზმების შედგენილობის გათვლა	65
2.4.	საკვლევ შემადგენლობათა კაზმებში მიმდინარე პროცესების შეფასება და კვლევა	70
2.5.	ZMB და CMB სამკომპონენტო კომპოზიციაში მინების სინთეზი და მათი მახასიათებელი თვისებების დადგენა	76
2.5.1.	მინების სინთეზი	76
2.5.2.	ZMB და CMB სერიის მინების სიმკვრივე და ფხვნილების მოცულობითი მასა	80
2.5.3.	ZMB და CMB შემადგენლობის მინების ფხვნილების ხსნადობა სატესტო რეაგენტებში	84
2.6.	მინების დაკრისტალეზა და მიღებული კომპოზიტური მასალების ხსნადობა სატესტო რეაგენტებში	92
	დასკვნა	103
	გამოყენებული ლიტერატურა	106

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. მცენარეთა ზრდის პროცესისათვის საჭირო მიკროელემენტები	20
ცხრილი 2. მიკროელემენტუმცველი არაორგანული ნაერთების წყალხსნადობა	46
ცხრილი 3. მინის წარმოქმნაში ბორის და რიგი d- ელემენტთა ფუნქციის შეფასება სანის (BR-O) და როუსონის (BR-O/Tდნ) კრიტერიუმებით	62
ცხრილი 4. ორი სისტემის საკვლევ შემადგენლობათა მოლ.%-დან წონ.%-ში გადათვლის შედეგები	69
ცხრილი 5. ZMB და CMB სერიის საკვლევ შემადგენლობათა კაზმები	70
ცხრილი 6. ZnO-MnO-B ₂ O ₃ და CuO-MnO- B ₂ O ₃ სისტემების საკვლევი შემადგენლობის კაზმებში მოსალოდნელი მახასიათებელი თერმოფექტები	71
ცხრილი 7. ZMB და CMB სერიის კაზმებში მიმდინარე თერმული პროცესები და წარმოქმნილ კრისტალურ ფაზათა იდენტიფიკაცია	76
ცხრილი 8. ZMB და CMB სერიის მინების სინთეზის პირობები და შედეგები	77
ცხრილი 9. ZMB და CMB სერიის მინების სიმკვრივე და მათი ფხვნილების მოცულობითი მასა	83

ცხრილი 10. საკვლევი მინამსალების ტესტურ რეაგენტებში ხანგრძლივი დამუშავებით გამოწვეული ხსნადობის მაჩვენებლები	88
ცხრილი 11. საკვლევი მინების კრისტალიზაციისადმი მიდრეკილების შეფასების პირობითი შკალა	93
ცხრილი 12. ZMB და CMB სერიის მინების აქტიური კრისტალიზაციის ტემპერატურული ინტერვალი	94
ცხრილი 13. საწყისი ZMB და CMB სერიის მინების დაკრისტალებით გამოწვეული სიმკვრივეთა ცვლილება	96
ცხრილი 14. საწყისი ZMB და CMB სერიის მინების დაკრისტალებით გამოწვეული ხსნადობის ცვლილება ტესტურ რეაგენტებში	97

ნახაზების ნუსხა

ნახაზი 1. საკვლევი მასალების მოცულობისა და კვლევისთვის მომზადების ოპერაციათა თანმიმდევრობა	55
ნახაზი 2. მინის წარმოქმნა $ZnO-MnO-B_2O_3$ სისტემაში	67
ნახაზი 3. მინის წარმოქმნა $CuO-MnO-B_2O_3$ სისტემაში	68
ნახაზი 4. CMB-1 შედგენილობის კაზმის დერივატოგრამა	74
ნახაზი 5. ZMB-1 შედგენილობის კაზმის დერივატოგრამა	74
ნახაზი 6. სხვადასხვა ტემპერატურაზე დამუშავებული ZMB შედგენილობათა კაზმის დიფრაქტოგრამები	75
ნახაზი 7. საწყისი (ა) და 9000C-ზე თერმულად დამუშავებული (ბ) სპილენძშემცველი მანგანუმბორატული კაზმის (CMB) დიფრაქტოგრამის ფრაგმენტები	75
ნახაზი 8. ZMB და CMB სერიის მინების სიმკვრივეზე შედგენილობის გავლენა	81
ნახაზი 9. $CuO-MnO-B_2O_3$ კომპოზიციის CMB შედგენილობის მინების ფრაქციულობის გავლენა მათ ნაყარ სიმკვრივეზე	82
ნახაზი 10. $ZnO-MnO-B_2O_3$ კომპოზიციის ZMB შედგენილობის მინების ფრაქციულობის გავლენა მათ ნაყარ სიმკვრივეზე	82
ნახაზი 11. თუთიისა (სერია ZMB) და სპილენძის (სერია CMB) ოქსიდების შემცველი ბორმანგანუმთან მინის მარცვლების ხსნადობა 2% ლიმონმჟავას ხსნარში	86

ნახაზი 12. თუთიის და სპილენძის ოქსიდების შემცველი RO-MnO- B ₂ O ₃ სისტემის მინების მარცვლების ხსნადობა 0,1% NaOH-ის ხსნარში	86
ნახაზი 13. ZMB-2 შედგენილობის მინის ლიმონმჟავას ხსნარში ტესტირებისას წარმოქმნილი ნარჩენი ხსნარის სპექტრული მრუდი	90
ნახაზი 14. CMB-2 შედგენილობის მინის ლიმონმჟავას ხსნარში ტესტირებისას წარმოქმნილი ნარჩენი ხსნარის სპექტრული მრუდი	90
ნახაზი 15. ZnO-MnO- B ₂ O ₃ (ა) და CuO-MnO- B ₂ O ₃ (ბ) კომპოზიტთა საკვლევი მინების დაკრისტალების უნარი	93
ნახაზი 16. ZMB სერიის მინების (დსაშ=2მმ) დაკრისტალებით გამოწვეულ თვისებათა ცვლილება	98
ნახაზი 17. CMB სერიის მინების (დსაშ=2მმ) დაკრისტალებით გამოწვეულ თვისებათა ცვლილება	98
ნახაზი 18. ZMB-2 და CMB-2 შედგენილობების კომპოზიტების ხსნადობის კინეტიკა 2%-ან ლიმონმჟავას ხსნარში	101

შესავალი

სოფლის მეურნეობაში საწარმოო სიმძლავრეების ზრდის უზრუნველ-საყოფად, ძირითად, სასუქებთან ერთად დიდი მნიშვნელობა აქვს მიკროსასუქებს, მიკროელემენტების შემცველ ნივთიერებების მიზნობრივ გამოყენებას. მიკროელემენტები მცენარეებს ძალზე მცირე ოდენობით სჭირდება, რადგან მათი შემცველობა ათასეულ და ათიათასეულ წილს შეადგენს მცენარეთა საერთო მასასთან შედარებით. მაგრამ, ყოველი მიკროელემენტი გარკვეული ფუნქციის მატარებელია, განსაკუთრებით ნივთიერებათა ცვლაში და მცენარეთა კვებაში, რადგან მათი ურთიერთჩანაცვლება ბუნებაში არ ხდება. საგულისხმოა, რომ მცენარეული საკვები პროდუქტის მოყვანა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ნიადაგში მიკროელემენტთა ნაკლებობაზე ან რიგ რაიონებში და რეგიონებში, მათ სიჭარბეზე. ორივე შემთხვევაში ადგილი აქვს აგრარული პროდუქციის მოსავლიანობის კლებასა და ხარისხის დაქვეითებას. კარგადაა ცნობილი, რომ მცენარეულ საკვებში მიკროელემენტების ნაკლებობას ან სიჭარბეს შეუძლია გამოიწვიოს მათი ძირითადი მომხმარებლების, ცხოველების და ადამიანის, ჯანმრთელობაზე უარყოფითი ზემოქმედება.

მაშასადამე, მიკროელემენტების და მათი შემცველი ე.წ. მიკროსასუქების პრობლემა იყო და არის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პრობლემა სოფლის მეურნეობაში და მეცხოველეობაში. კარგადაა ცნობილი, რომ მიკროსასუქები, თუ შესატყვისი პირობები იქნა შერჩეული და დაცული, დადებით გავლენას ახდენენ მცენარეთა განვითარებაზე და ზრდიან მცენარეულ კულტურათა მოსავლიანობას და მათ ხარისხს, იცავენ მცენარეებს და ცხოველებს მთელი რიგი დაავადებისაგან. მიკროელემენტთა ათვისებადი ფორმების მწვავე დეფიციტი კულტურულ მცენარეთა და შესაბამისად, შინაურ ცხოველთა ავადმყოფობის ძირითადი მიზეზი შეიძლება გახდეს, რადგან ამ უკანასკნელის საკვები მცენარეული წარმოშობისაა.

სოფლის მეურნეობის ინტენსიფიკაცია მოითხოვს სასოფლო სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობის ზრდას, რაც განსაზღვრავს ნიადაგიდან მცენარეთა საკვები ელემენტების და მათ შორის, მიკროელემენტების გამოტანას. აღნიშნული აუცილებელს ხდის ნიადაგში მცენარეთა საკვები ელემენტების ხელოვნურ შეტანას და მათ შორის მიკროელემენტშემცველის. აღნიშნული სრულად ეხება არამარტო მიკროელემენტების ნაკლებად შემცველ, არამედ, ზომიერად შემცველ ნიადაგებსაც.

ამავე დროს, სასოფლო-სამეურნეო კულტურათა ნორმალური ზრდა-განვითარება სხვადასხვა კლიმატურ პირობებში და ნიადაგებზე ხდება. აღნიშნულიდან გამომდინარე არ არსებობს უნივერსალური მიკროსასუქის სახე. მცენარეთა ბიოლოგიურ თავისებურებათა გათვალისწინებით და ასევე ნიადაგკლიმატური პირობები, საჭიროს ხდის მიკროელემენტების შემცველი მიკროსასუქების მრავალსახეობის არსებობას. აქედან, გარკვეულ პირობებში, განსაკუთრებით ეფექტური მიკროსასუქების არსებობა და მასთან დაკავშირებული სხვადასხვა ხარისხის და შედგენილობის მიკროსასუქების ეფექტური ფორმების მიღება-შესწავლა და მიზნობრივი გამოყენება დღემდე აქტუალურ ამოცანად რჩება.

ცნობილია რვა მიკროელემენტი, რომელიც აუცილებელია ცოცხალი ორგანიზმების სიცოცხლისუნარიანობის უზრუნველსაყოფად და ესენია: რკინა, სპილენძი, მანგანუმი, თუთია, მაგნიუმი, ბორი, მოლიბდენი, კობალტი. მათგან სოფლის მეურნეობაში ძალზე გავრცლებულია ხუთი სახის მიკროსასუქების გამოყენება. კერძოდ, მიზნობრივად შეიტანება ნიადაგში ბორის, თუთიის, მანგანუმის, სპილენძის და მოლიბდენის შემცველი სხვადასხვა ფუძეზე შექმნილი მიკროსასუქები, რომლებიც განსხვავდებიან გამოყენების პერიოდულობით და დროში ეფექტურობით.

აღნიშნულიდან გამომდინარე ჩვენს მიერ დაიგეგმა კვლევა, რომელიც მიზნად ისახავს კომპლექსური შედგენილობის, კერძოდ, რიგი მიკროელემენტების - სპილენძის, მანგანუმის, თუთიისა და ბორის შემცველ მიკროსასუქებად გამოსაყენებელი პროლონგური მოქმედების მასალების

მიღებას. ამისათვის სინთეზირებულ იქნა ფრიტები, რომლებიც მიღებულ იქნა $ZnO-MnO-B_2O_3$ და $CuO-MnO-B_2O_3$ სისტემების საფუძველზე. ფრიტების ტესტურ რეაგენტებში ხსნადობის შესწავლით გამოვლინდა მათი პროლონგური ქმედების მიკროსასუქების სახით გამოყენების შესაძლებლობა.

1. ლიტერატურის მიმოხილვა

სოფლის მეურნეობაში თანამედროვე მიკროსასუქებიდან, რომლებიც გამოირჩევიან თავისი ეფექტურობითა და ეკონომიურობით, დღეისათვის გამოიყენება სხვადასხვა სახეობის მიკროსასუქი. ისინი ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან ბუნებით (არაორგანული და ორგანული), აგრეგატული მდგომარეობით (თხევადი და მყარი), შედგენილობით (მონო ან პოლიმიკროსასუქები) და სხვა მახასიათებლებით.

დღეისათვის, ცნობილია მიკროსასუქების ოთხი სახეობა, რომელიც ფართოდ გამოიყენება სოფლის მეურნეობაში და ესენია :

- არაორგანული ნაერთები (მინერალური მიკროსასუქები)
- ორგანული კომპლექსები (სინთეზური ხელატები, ორგ. მჟავას მარილები)
- ბუნებრივი მიკროელემენტშემცველი მასალები (გადამუშავებული ქანები ან საწარმოო ნარჩენები)
- ფრიტები (ხელოვნურად მიღებ. მიკროელემენტშემცველი მინამასალები)

ყველა მათგანი გამოირჩევა მიკროელემენტის რაოდენობით, ხსნადობით და მცენარისათვის ასათვისებელი ფორმებით, შეტანის ინტენსივობით და სხვა [1-6].

მიკროსასუქების სახეობათა შორის გამორჩეული ადგილი უკავია კომპლექსურ მიკროსასუქებს, რომელთა პრაქტიკულ ღირებულებას განსაზღვრავს ის გარემოება, რომ ისინი შეიცავენ რამოდენიმე მიკროელემენტს. ასეთ მიკროსასუქებს მცენარეები მოიხმარენ მცირე რაოდენობით, მაგრამ კომპლექსურად ხდება მიკროელემენტების დეფიციტის შევსება. მათი გამოყენების მოსალოდნელი შედეგია მცენარეთა იმუნური სისტემის გაძლიერება. კომპლექსური (პოლიმერული) სასუქების გამოყენებისას ადგილი აქვს მცენარეთა ნორმალურ განვითარებასა და მოსავლიანობის ზრდას [7-9].

ზოგადად დავახასიათებთ მიკროელემენტების სახეობას, მათ შემცველ მიკროსასუქებს და გამოყენების ზოგიერთ თავისებურებებს.

1.1. მიკროელემენტები და მათი მნიშვნელობა მცენარეებისათვის

ქიმიური ელემენტები თავისუფალ მდგომარეობაში და როგორც ქიმიური ნაერთების კომპლექტი, წარმოადგენენ ცოცხალი ორგანიზმის ყველა უჯრედებისა და ქსოვილების ნაწილს. ისინი წარმოადგენენ სხვადასხვა ბიოქიმიური რეაქციების სამშენებლო მასალას; არიან მნიშვნელოვანი კატალიზატორები, განუყოფელი და შეუცვლელი მონაწილეები ორგანიზმის ზრდისა და განვითარების პროცესში, მეტაბოლიზმში და ასევე, პასუხისმგებელი არიან ცვლადი გარემოს პირობებში ადაპტირებაზე.

ქიმიური ელემენტების შემცველობის სისტემატიზირების შესახებ ბოლო ათწლეულებში შემოთავაზებულია რამდენიმე კლასიფიკაცია. დეტალურად განხილვის გარეშე შევხებით მხოლოდ ძირითად პრინციპს, რომლის მიხედვით ქიმიური ელემენტები ჯგუფებად გადანაწილდება, რაც დამოკიდებულია ორგანიზმში მათ რაოდენობით შემცველობაზე [10,11].

ამ კლასიფიკაციის პირველ ჯგუფში შედიან "მაკროელემენტები", რომლის კონცენტრაცია სხეულში აღემატება 0.01%. ესენია: O, C, H, N, Ca, P, K, Na, S, Cl, Mg. ამ ჯგუფის ზოგიერთ ელემენტის "ორგანოგენებს" (O, H, C, N, P, S) უწოდებენ ქსოვილებისა და ორგანოების სტრუქტურის ფორმირებაში მათი წამყვანი როლის გამო.

მეორე ჯგუფში შედიან "მიკროელემენტები" (0.00001% -დან 0.01% -მდე). ეს ჯგუფი მოიცავს: Fe, Zn, F, Sr, Mo, Cu, Br, Si, Cs, I, Mn, Al, Pb, Cd, B, Rb. მიუხედავად მისი დაბალი შემცველობისა, მიკროელემენტები კომპლექსური ფიზიოლოგიური სისტემის კომპონენტებია, რომლებიც ჩართულნი არიან ცოცხალი ორგანიზმების სასიცოცხლო ფუნქციების რეგულირების პროცესის ყველა ეტაპზე.

მესამე ჯგუფში შედიან "ულტრამიკროელემენტები", რომლის კონცენტრაციაც 0.000001% -ზე ნაკლებია. ეს არის Se, Co, V, Cr, როგორც, Ni,

Li, Ba, Ti, Ag, Sn, Be, Ga, Ge, Hg, Sc, Zr, Bi, Sb, U, Th, Rh. ორგანიზმებში ამ ელემენტების შემცველობა იზომება მგ და მკგ-ში.

მეორე ჯგუფის მიკროელემენტებიდან გამოყოფენ ექვს სახეობას, რომელთა როლი მცენარეთა ზრდის პროცესში განსაკუთრებულია და მათი მნიშვნელობა არ იზღუდება მცენარეთა ზრდა-განვითარებისას (მსხმოიარობით დამთავრებული) რომელიმე ეტაპით. მათი მნიშვნელობა შენარჩუნებულია მცენარის საარსებო ყველა ფაზაში [8-11].

ცხრილი 1. მცენარეთა ზრდის პროცესისათვის საჭირო მიკროელემენტები

N	მცენარეთა ზრდის სტადიები	მიკროელემენტების სახეობა					
		Fe	Zn	Mn	Cu	B	Mo
1	თესლის გაღვივება და მცენარის ზრდის დაწყება	+	+	+	-	-	-
2	ვეგეტაციური ზრდა	+	+	+	+	+	-
3	ყვავილობა და ნაყოფის ჩამოყალიბება	+	-	-	-	+	-
4	ნაყოფის მწიფობა და გამოზამთრება	-	-	-	+	+	+

თითოეული ელემენტის სასიცოცხლო ფუნქციების შესრულებისათვის არსებობს კონცენტრაციის ოპტიმალური სპექტრი. სხეულის ელემენტების დეფიციტი ან გადაჭარბებული დაგროვება, სერიოზული ცვლილებები შეიძლება გამოიწვიოს, რაც პირდაპირ ან ირიბად უკავშირდება ფერმენტების აქტივობის დარღვევით.

მიკროელემენტების ნაკლებობის შედეგი მცენარეებისთვის

ცოცხალი ორგანიზმები ძალიან მომთხოვნი არიან მიკროელემენტების ოპტიმალურ კონცენტრაციას მიმართ. ნიადაგში მიკროელემენტების ნაკლებობა ან ზედმეტობა ნეგატიურად აისახება ორგანიზმის განვითარებაზე, რაც იწვევს მცენარეთა და ცხოველთა დაავადებებს [16-18].

სპილენძის ნაკლებობა ყველაზე მეტად იჩენს თავს სპილენძით ღარიბი, ჭაობიანი და დაჭაობებული ნიადაგების ათვისების დროს.

დაავადებული მარცვლოვანი მცენარეების ფოთლის ბოლოები იგრიხება და ხმება, სელი წყვეტს ზრდას და კოკრების წარმოქმნას. სპილენძის ნაკლებობა იწვევს ვაშლის, მსხლისა და ციტრუსოვანთა ხეების წვერხმელობას ანუ, კენწეროების ჭკნობას. სპილენძი ამცირებს მცენარეთა დაავადებას სოკოვანი ავადმყოფობებით. მაგალითად, კარტოფილის დამატებითი ფესვგარეშე გამოკვება სპილენძის მარილებით ამცირებს ამ კულტურის დაავადებას ფიტოფტორითა და რიზოქტონიით, და ადიდებს კარტოფილის ტუბერების გამძლეობას ავადმყოფობათა მიმართ.

თუთიის ნაკლებობა იწვევს სიმინდის წვეროს გათეთრებას, ხოლო ხეხილოვან მცენარეებს - ვაშლს, მსხალს, ქლიავს, ატამს, გარგარსა და სხვებს - უვითარდებათ როზეტოვანი ავადმყოფობა, რომელიც მკვეთრად ამცირებს ნაყოფის წარმოქმნას, ხოლო ახალგაზრდა ყლორტებს ძალიან მოკლე მუხლთაშორისები აქვთ. თუთიის ნაკლებობა იწვევს ციტრუსოვანი კულტურების ფოთლების ლაქიანობას, მათ გათეთრებასა და ზრდის შეჩერებას. ტუნგოს ხეებს უვითარდებათ ფოთლების ბრინჯაოსფრობა. მისი დეფიციტი გამოხატულია ასევე, ფოთლების კიდეებში ქსოვილის კვდომით და მეჩხერფოთლიანობით.

ბორის ნაკლებობა იწვევს მცენარეებში ყვავილის განუვითარებლობას. შაქრის ლერწმის გული ავადდება მშრალი სიდამპლით, სელი - ბაქტერიოზით. ნიადაგში ბორის მაღალი შემცველობა იწვევს გართხმულ ან დაზუჩული მცენარეების წარმოქმნას, შესაძლებელია ფოთლების გაყვითლება, ფოთლის ძარღვები ყავისფრდება ან ყვითლდება. დეფიციტის დროს ასევე იღუპება კენწერული კვირტი ე.წ. ზრდის წერტილი.

მანგანუმის ნაკლებობის შემთხვევაში შვრია, ქერი, ხორბალი და სხვა მარცვლოვნები ავადდებიან ნაცრისფერი ლაქიანობით. ლაქიანი სიყვითლით დაავადებული შაქრის ჭარხლის ფოთლები შეიცავს მხოლოდ 13-51 მგ. მანგანუმს 1 კგ. მშრალ ნივთიერებაზე. მაშინ როდესაც ჯანსაღი ფოთლები შეიცავს 181-551 მგ-ს. ვინაიდან მანგანუმიც ჩართულია ქლოროფილის ფორმირებაში, მისი დეფიციტი (თამბაქო, სიმინდი, ბამბა,

შვრია და შაქრის ჭარხალი) ხშირად ფოთლების ქლოროზს იწვევს. თუმცა, სურათი აქ გარკვეულწილად განსხვავდება: ფოთლის ფირფიტები ყვითელია, მაგრამ ძარღვები მწვანე ფერის რჩება. იწყება ფოთლის დალაქავება, რაც ქსოვილის ნაწილების კვდომას იწვევს. ბარდის თესლების დაავადება ჭაობის ლაქიანობით ასევე გამოწვეულია მანგანუმის ნაკლებობით.

1.2. მიკროელემენტების შემცველობა სხვადასხვა ტიპის ნიადაგში და მცენარეთა მიერ მათი დაგროვება

ნიადაგების შემადგენლობაში, მენდელეევის პერიოდული ცხრილის თითქმის ყველა ელემენტი გვხვდება, რაც კი მცენარეთა ორგანიზმების შედგენილობაშია. ნიადაგში მიკროელემენტების ძირითადი წყარო სხვადასხვა ქანებია, ასევე ისინი ნიადაგში ხვდებიან მეტეორებიდან, კოსმოსური მტვერით, ვულკანური აირებით, ზღვიდან, მიწისქვეშა წყლებით, ადამიანის გეოქიმიური აქტივობისა და ანთროპოგენური დაბინძურების შედეგად და სხვა [18].

ნიადაგებში, ელემენტების აკუმულირება, შეწოვა და ფიქსაცია შეიმჩნევა. მიკროელემენტების აბსორბაცია სხვადასხვა გზით ხდება: ისინი შეიძლება შედიოდნენ ცილების შემადგენლობაში, პირველადი და მეორადი მინერალების კრისტალურ მესერებში, მათ შეუძლიათ წარმოქმნან საკუთარი კოლოიდური მინერალები, აბსორბირდნენ კოლოიდული ნაწილაკების ზედაპირზე, ორგანული ნივთიერებების შემადგენლობაში.

ნიადაგში მიკროელემენტების შემადგენლობა და განაწილება დამოკიდებულია ნიადაგის ფორმირების პროცესის მიმართულებასა და ხარისხზე გარკვეულ ლანდშაფტში. ნიადაგში მიკროელემენტების განაწილება განისაზღვრება ჰუმუსის შემცველობით, ნაწილაკების ზომით, ჟანგვა-აღდგენითი პროცესებით, შთანთქმის უნარით, CO₂ კონცენტრაციით.

მჟავე გარემოში, მოლიბდენის შეწოვა მცირდება, მაგრამ სპილენძის, მანგანუმის, თუთიის და კობალტის მობილურობა იზრდება. ისეთი მიკროელემენტები, როგორცაა ბორი, ფტორი და იოდი ერთნაირად შეიწოვება, როგორც მჟავა, ასევე ტუტე გარემოში. ზოგიერთი მიკრო-ელემენტი, როგორცაა ბორი, ორგანულ ნაერთებთან ქმნის ხსნად ნაერთებს, ხოლო იოდის და სპილენძი ფიქსირდებიან და მიუწვდომელი ხდებიან მცენარეებისათვის. მცენარეებისათვის ხელმისაწვდომია მხოლოდ ხსნადი მიკროელემენტები. ამავე დროს, „მოძრავი“ მიკროელემენტების რაოდენობა მათი სრული შემადგენლობის მხოლოდ 5-25% შეადგენს. მაგალითის სახით მოვიყვანოთ სხვადასხვა ნიადაგში ცალკეული ელემენტების გავრცელებისა და შემცველობის აღწერილობა [19-23].

ბორი. ნიადაგში ბორი გვხვდება სხვადასხვა ნაერთების სახით, რომელთა მისაწვდომობის ხარისხი მცენარეებისა და მიკროორგანიზმებისათვის არაერთგვარია. მცენარეებს შეუძლიათ შეითვისონ ბორი მისი წყალხსნადი ნაერთებიდან. ძველ ზღვის თიხებსა და დანალექ ქანებზე წარმოქმნილი ნიადაგები როგორც წესი, უფრო მდიდარია ბორით, ვიდრე მორენულ დანალექებზე წარმოქმნილი ნიადაგები. ბორი შედის მინერალების ტურმალინისა და დატოლიტის შემადგენლობაში მცენარისათვის ძნელად მისაწვდომი ფორმით. ბორი შედარებით ბევრია კორდიან-კარბონატულ, აგრეთვე, ამონაფრქვევ მძიმე თიხებზე წარმოქმნილ, კორდიან-ეწერ ნიადაგებში. ტორფიან ნიადაგებში ბორის რაოდენობა 1,5-დან 23,0 მლ-მდე მერყეობს 1 კგ. ნიადაგზე. ამავე დროს, დაბლობის ჭაობების ნიადაგები კარგად დაშლილი ნეიტრალური ტორფით შეიცავენ მეტ ბორს, ვიდრე მჟავე ხავსიანი ტორფნარების ნიადაგები. საერთო ბორის განაწილება ნიადაგის გენეტიკური ჰორიზონტების მიხედვით დაკავშირებულია მათ მექანიკურ შედგენილობასა და ჰუმუსის შემცველობასთან. შესათვისებელი ბორით უზრუნველყოფის ხარისხის მიხედვით, კერძოდ, იმ მცენარეებისთვის, რომლებსაც ძლიერ აქვთ გამოსახული ბორის მოთხოვნილება - ყველა ნიადაგი შეიძლება დაიყოს 5 ჯგუფად.

1. ნიადაგები უზრუნველყოფილი ბორით. მცენარე ვითარდება ნორმალურად და არ საჭიროებს ბორიანი სასუქების შეტანას.
2. ნიადაგები ბორის შემცველობის ნაკლებობის სუსტი გამოხატულებით. მცენარე ნორმალურად ვითარდება და ყვავილობს, მაგრამ თესლის დაბალ მოსავალს იძლევა.
3. ნიადაგები ბორის ნაკლებობის საშუალო გამოხატულებით. მცენარის ყვავილობა და განაყოფიერება მიმდინარეობს არანორმალურად და მოსავლიანობა მკვეთრად მცირდება.
4. ნიადაგები, რომლებსაც ემჩნევათ ბორის აშკარა ნაკლებობა. ყვავილობისა და განაყოფიერების პროცესების დარღვევასთან ერთად, მცენარის ფოთლები ჭკნება და ზრდის წერტილები კვდება. მცენარე იძულებულია წარმოქმნას ზრდის ახალი წერტილები.
5. მცენარის კვებაში ბორის სრული ან თითქმის სრული არარსებობა, რაც იწვევს მის ნაწილობრივ ან მთლიან დაღუპვას.

სპილენძი. სპილენძიანი სასუქების შეტანისას მხედველობაში უნდა მივიღოთ სპილენძის არა მარტო აბსოლუტური შემცველობა ნიადაგში, არამედ მისი მოძრაობის ხარისხიც, ანუ მცენარის მიერ შეთვისება. ეწერ ნიადაგებში სპილენძის საერთო რაოდენობა მცირეა და გამოკვლევებით, შეადგენს 1,5-18,5 მგ-ს 1 კგ ნიადაგზე. შავმიწა ნიადაგები გაცილებით მდიდარია სპილენძით, 1 კგ ნიადაგი შეიცავს 16-30 მგ სპილენძს. ნიადაგში მოიპოვება სპილენძის შემდეგი ფორმები: წყალხსნადი, გაცვლითი ორგანული და მინერალური კოლოიდებით შთანთქმული, ძნელად ხსნადი სპილენძის მარილები, სპილენძშემცველი მინერალები, სპილენძის მეტალორგანული შენაერთები. ყველაზე უფრო მოძრავია წყალხსნადი სპილენძი, ანუ მისი შემადგენელი ნაერთი. კორდიანი ეწერი ნიადაგების ქანში სპილენძი, როგორც წესი მეტია, ვიდრე ზედა ჰუმუსოვანში. ზეგანის მჟავე ტორფნარები გაცილებით ღარიბია სპილენძით, ვიდრე დაბლობებისა. შედარებით მეტია სპილენძი კორდიან-კარბონატულ ნიადაგებში. ამ ნიადაგებში სპილენძი მაგრდება, როგორც კარბონატების

ფორმით, ასევე, ორგანული ნივთიერებით შთანთქმულ მდგომარეობაში. ერთნაირი არაა, აგრეთვე, სპილენძის რაოდენობა ჭაობიან ნიადაგებში. იგი მეტია დაბლობის ჭაობებში, ვიდრე ზეგანის ჭაობებში.

მანგანუმი. ნიადაგში მანგანუმის საერთო მარაგისა და შესათვისებელი მანგანუმის რაოდენობა ძლიერ მერყეობს. მცენარისათვის მისაწვდომად ორვალენტური მანგანუმის სიჭარბემ შეიძლება უარყოფითი გავლენა იქონიოს მის განვითარებაზე. ნიადაგში მანგანუმი წარმოდგენილია სხვადასხვანაირი შენაერთის სახით, რაც აიხსნება მისი განსაკუთრებული ქიმიური თვისებებით. ნიადაგში მიმდინარე ჟანგვა-აღდგენითი პროცესების ხარჯზე მანგანუმი ოთხვალენტური ფორმად იჟანგება და მცენარისთვის ის მიუწვდომელი ხდება. ოთხვალენტური მანგანუმის აღდგენის შედეგად ის ისევ ორვალენტურ მანგანუმში გადადის, რაც ამ პროცესს აადვილებს. ყველაზე დიდი რაოდენობით მანგანუმს შეიცავს კორდიანი ეწერი ნიადაგები (50-150 მგ. 1 კგ. ნიადაგზე). შავმიწა ნიადაგებში მანგანუმის რაოდენობა 1-75 მგ-მდე მერყეობს. რუხ ნიადაგებში 1,5-125 მგ-მდე. წაბლა და მურა ნიადაგები შეიცავენ 1.5-75 მგ მანგანუმს.

თუთია. თუთიის რაოდენობა ნიადაგში დამოკიდებულია ამ ელემენტის შემცველობაზე ქანში. მჟავე კორდიან-ეწერი და ტორფიანი ნიადაგები დიდი რაოდენობით შეიცავენ თუთიას. შავმიწა ნიადაგებში მისი რაოდენობა ნაკლებია (0.1-0.25 მგ). მურა და წაბლა ამიერკავკასიის ნიადაგებში მისი შემცველობა 0.03-0.14 მგ-ია. ნიადაგის მჟავიანობის გადიდებით მოძრავი თუთიის რაოდენობა მატულობს. ჰუმუსით მდიდარი და მჟავე ნიადაგები თუთიის მოძრავ ფორმებს შეიცავენ დიდი რაოდენობით. საერთოდ, ჭაობიანი ნიადაგები ყველაზე მდიდრები არიან თუთიით. ნახშირმჟავა კალციუმი ლექავს თუთიას, ამიტომ კარბონატულ ნიადაგებში თუთია ნაკლებად მოძრავ მდგომარეობაში იმყოფება, რაც აიხსნება იმით, რომ კალციუმთან თუთია უხსნად ნაერთს წარმოშობს.

მცენარეებს შეუძლიათ ნებისმიერი ელემენტის ათვისება, თუ ის არის ხსნად მდგომარეობაში და ხელმისაწვდომია ფესვებისთვის. ელემენტებს,

თავის მხრივ, შეუძლია ხსნადი მდგომარეობიდან უხსნადში გადასვლა და პირიქით. ეს დამოკიდებულია ნიადაგის მჟავიანობის მაჩვენებელზე (pH) და მათ ურთიერთქმედებაზე. ამ მხრივ, ცნობილია, რომ pH-ის მჟავა და ოდნავ მჟავა ნიადაგებზე სპილენძი, თუთია, მანგანუმი და რკინის შეწოვა მცენარის მიერ აქტიურად ხორციელდება, მაგრამ მოლიბდენის არა. 7 ან მეტი pH-ზე (ნიადაგის ნეიტრალური ან ტუტე რეაქცია), სპილენძი, მოლიბდენი, რკინა, თუთია, მანგანუმი ფაქტობრივად „უძრავები“ ხდებიან და არ გადადიან ათვისებად ხსნარებში. ამ შემთხვევაში ძირითადად ხმარობენ ე.წ ჰელატებს-მიკროელემენტების ორგანულ ნაერთებს.

ჰელატებს აქვთ ძალიან სტაბილური სტრუქტურა. როდესაც ნიადაგის პირობები იცვლება, მიკროელემენტები, რომლებიც მათ შემადგენლობაში შედიან არ რეაგირებენ ცვლილებაზე და მათი ურთიერთქმედება გამორიცხებულია.

მცენარეთა მიერ ელემენტთა დაგროვება განსხვავებულია, კერძოდ ცნობილია, რომ მცენარეები ნიადაგიდან შერჩევით იღებენ მიკროელემენტებს: სიმინდი - ოქროსა და თუთიას, ია და თამბაქო - თუთიას, ბამბა - კობალტს. მცენარეების მიერ მიკროელემენტების შერჩევითი შთანთქმის შედეგია მათშივე ნივთიერებების არათანაბარი დაგროვება. მაგალითად, ოსპი ინტენსიურად აკონცენტრირებს ტიტანის და დარიშხანს, წიწიბურა - ბორს, სტრონციუმს და მოლიბდენს, ჩაი - კობალტს, სპილენძს, ფტორს, სიმინდი - სპილენძს, სელენს, კალას, თუთიას, ჭარხალი - თუთიას, მანგანუმს, ფტორს, სპილენძს, ბორს, ყველა პარკოსანი კი მოლიბდენსა და ვანადიუმს. მოყვანილი მასალიდან შეიძლება გაკეთდეს ზოგადი ხასიათის დასკვნა: მიკროელემენტების როლი ძალიან მნიშვნელოვანია ცოცხალი ორგანიზმებისათვის, ვინაიდან ისინი წარმოადგენენ მნიშვნელოვან კატალიზატორებს, სამშენებლო მასალას და წარმართავენ სასიცოცხლო პროცესებს. მათ განსაკუთრებული როლი უკავიათ მცენარეებისთვისაც. მათი ზრდა-განვითარებისა და მოსავლიანობის პროცესების სრულფასოვნად წარმართვაში ყველაზე მნიშვნელოვანია მცენარეულ

კულტურებში მიკროელემენტების შემცველობისა და საჭირო დოზირების ცოდნა, რაც ხორციელდება სხვადასხვა ნიადაგისა და ნიადაგში მიკროელემენტების რაოდენობის შესწავლით. შესაბამისად, როცა ვიცით, რომელი ელემენტი იქნება პირველ რიგში კონკრეტული მცენარის მიერ ათვისებული ნიადაგიდან, ჩვენ შეგვიძლია დავაბალანსოთ თითოეული მათგანის მინერალური კვება, რათა უზრუნველვყოთ მათი სწორი ზრდა და განვითარება.

1.3. ესენციალური მიკროელემენტები და მათი გავლენა ადამიანზე

ბიოორგანული ქიმია წარმოიქმნა ბიოლოგიის, ბიოქიმიისა და არაორგანული ქიმიის საფუძვლებზე და შეისწავლის ქიმიურ რეაქციებს, რომლებიც ხდება ცოცხალი ორგანიზმის უჯრედში არაორგანული იონების მონაწილეობით. ქიმიური ელემენტების ბიოლოგიური როლის შესწავლა, ცოცხალ ორგანიზმში მათი მეტაბოლიზმის პროცესების გავლენა, დაქვეითებული მინერალშემცველობასთან დაკავშირებული დაავადებების პროფილაქტიკა - თანამედროვე მედიცინის უმნიშვნელოვანეს ამოცანად არის მიჩნეული. უჯრედებისა და ორგანიზმების მშენებლობისა და სასიცოცხლო საქმიანობისთვის აუცილებელ ელემენტებს ეწოდება ბიოგენური ელემენტები.

ბიოგენური ელემენტების კლასიფიკაცია ხდება მათი შემცველობის და ფუნქციის მიხედვით [23,24].

I. ორგანიზმში რაოდენობის მიხედვით, ქიმიური ელემენტები იყოფა:

1. მაკრონუტრიენტები - 10–2% ან მეტი ოდენობით წარმოდგენილი (H, C, N, O, P, S, Cl, Na, K, Mg, Ca).
2. მიკრონუტრიენტები - 1%-მდე (Fe, F, Si, Mn, Co, Cu, Ni, Zn, Cr და ა.შ.).
3. ულტრამიკრონუტრიენტები - მასობრივი წილი 10–6% ან ნაკლები (Ag, As, Sb და ა.შ.).

II. ფუნქციის მიხედვით, ბიოელემენტები იყოფა სამ ჯგუფად:

1. ელემენტები, რომლებიც ქმნიან ბიოპოლიმერების დიდ ნაწილს და შესაბამის მონომერებს - ცილებს, ნუკლეინის მჟავებს, ნახშირწყლებს, ლიპიდებს. წყალბადის (H) გამონაკლისის გარდა, ეს არის p- ელემენტები: C, N, O, P, S. ამ ელემენტებს ეწოდება ორგანოგენები.
2. ელემენტები, რომლებიც ქმნიან ელექტროლიტურ გარემოს სისხლში, უჯრედულ და უჯრედშორებიან სითხეებში. ეს არის s- ელემენტები: Na, K, Mg, Ca; p- ელემენტები: Cl, S, C, O, P. იონები იყოფა მარტივად (მაგალითად, Cl^- , K^+) და რთულ ელემენტებად (მაგალითად, HCO_3^- , $H_2PO_4^-$).
3. სტრუქტურაში და ფერმენტების აქტიურ ცენტრებში შედის მიკროელემენტები და ამრიგად ისინი აუცილებელია მრავალი ბიოქიმიური რეაქციის რეგულირებისთვის. ესენი ძირითადად წარმოდგენილია d - ელემენტებით: Fe, Mn, Co, Cu, Zn, Mo და ა.შ., მათ რიცხვშია აგრეთვე სელენი და იოდი.

ადამიანის სხეულში გვხვდება 78 ელემენტი, აქედან 6 ორგანოგენია, 26 აქტიურად მონაწილეობს მეტაბოლიზმში (Ca, K, Na, Li, Cl, Mg, Fe, F, Al, Si, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Sr, Mo, Cd, Sn, I, B, Pb), 46 კი ძალიან მცირე რაოდენობითაა აღმოაჩენილი. ამ უკანასკნელთა ბიოგენური როლი არ არის დაზუსტებული. ათი მეტალი შეადგენს "სასიცოცხლო მეტალების" ჯგუფს: Na, K, Ca, Mg, Fe, Co, Mn, Zn, Cu, Mo. ეს ელემენტები სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანია თითოეული ადამიანისთვის და მისი ნორმალური ცხოვრებისათვის.

მიკროელემენტები Be, Ba, As, Pb, Cd, Hg, Bi, Tl ქმნიან ტოქსიკური ელემენტების ჯგუფს. ელემენტების ბიოლოგიური როლი დიდწილად განისაზღვრება იმ ადგილის მიხედვით, რომელსაც ისინი იკავებენ. მენდელეევის ცხრილში, ე.ი. დამოკიდებულია მათი ატომების სტრუქტურაზე. ატომური მასის მატებასთან ერთად, ელემენტთა ტოქსიკურობა იზრდება და ორგანიზმში მათი პროცენტი მცირდება. საკვები ნივთიერების დიდი უმრავლესობა პერიოდული სისტემის მე-2 და მე-3 პერიოდების ელემენტებია. უფრო მეტიც, ეს არის მსუბუქი ატომები მცირე ზომებით

და მცირე ბირთვული მუხტით (რკინის, სპილენძის, თუთიის გარდა), რომლებიც უფრო ხშირად შედიან სასიცოცხლო სისტემებში. ეს განპირობებულია კონკრეტული ტიპის ატომის პრევალენტობით, ისევე როგორც თვისებების განსაკუთრებული კომბინაციით, რაც ელემენტებს აყალიბებს იმ როლისთვის, რომელსაც ის სხეულში ასრულებს. ცოცხალი მატერია არის ღია სისტემა, რომლის არსებობაც შესაძლებელია მხოლოდ გარეგანი არაანტიკური ბუნებასთან მუდმივი ქიმიური ურთიერთქმედების პირობით. აქედან გამომდინარე, ყველაზე მნიშვნელოვანი ბიოგენური ქიმიური ნაერთები ქმნიან ახალ ნაერთებს, რომლებიც ადვილად აღწევენ უჯრედში, განსხვავდება სტრუქტურული მრავალფეროვნებით, აქვთ თავისუფალი მაღალენერგიულობის ხარისხით [25].

მიკრონუტრიენტები და მათი გავლენა ადამიანის ორგანიზმზე

მიკრონუტრიენტები, ვიტამინები, მინერალები და მიკრონუტრიენტები ახდენს გავლენას ადამიანის სხეულზე, ძირითადად, არაპირდაპირი გზით, ცვლის ფერმენტების, ჰორმონების, ცილების და სხვა ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების მოქმედებას. ადამიანის ორგანიზმში თითქმის არცერთი პროცესი არ მიმდინარეობს მიკროელემენტების მონაწილეობის გარეშე.

მიკრონუტრიენტების მონაწილეობით მიმდინარე ძირითადი პროცესები:

- მონაწილეობენ ყველა იმ სახის მეტაბოლიზმში, რაც უზრუნველყოფს მაკროელემენტების ყველაზე ეფექტურ შეწოვას (ცილები, ცხიმები და ნახშირწყლები);
- ფერმენტული სისტემების გააქტიურება;
- უზრუნველყოს ანტიოქსიდანტური დაცვა;
- მონაწილეობა მიიღონ უჯრედული სუნთქვის პროცესებში;
- შეინარჩუნოს ელექტროლიტური წონასწორობა და მჟავა – ტუტე ბალანსი;

- მონაწილეობა მიიღოს სისხლის ფორმირების პროცესებში, სისხლის შედედების რეგულირებაში, მიოკარდიუმის და სისხლძარღვთა ტონუსის აღზნებადობაში, იმუნური სისტემის შენარჩუნებაში და ა.შ.

მიკრონუტრიენტების ფიზიოლოგიური ფუნქციები ძალიან მრავალფეროვანია. უფრო მეტიც, საკვების სამკურნალო-პროფილაქტიკური მოქმედებები არ არის მხოლოდ ცალკეული მიკრონუტრიენტების ბიოლოგიური ეფექტების ჯამი, არამედ მათ შორის კომპლექსური ურთიერთქმედების შედეგია [27].

მიკროელემენტები და ჯანმრთელობა

როგორც აღვნიშნეთ მიკროელემენტები არის ქიმიური ელემენტების ჯგუფი, რომლებიც ადამიანის ორგანიზმში ძალიან მცირე რაოდენობით გვხვდება. მიკროელემენტები ასრულებენ ყველაზე მნიშვნელოვან ფუნქციებს ადამიანის ორგანიზმში. მიკროსკოპული რაოდენობითაც კი, მათ აქვთ უზარმაზარი ეფექტურობა. მიკროელემენტები არის ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების: ფერმენტების, ჰორმონებისა და ვიტამინების შეუცვლელი ნაწილი. მათი ნაკლებობა სერიოზულ დაავადებებს იწვევს. მიკროელემენტები მონაწილეობს ცილების, ცხიმების, ნახშირწყლების ცვლაში, ორგანიზმში ცილების სინთეზში, თბორეგულაციაში, სისხლის წარმოქმნაში, ძვლების ფორმირებაში, რეპროდუქციასა და იმუნურ რეაქციებში [28].

მიკროელემენტები ჩვენი ჯანმრთელობის სასიცოცხლო კომპონენტებია.

მიკროელემენტები გვხვდება ყველა ცოცხალ ორგანიზმში, მათ შორის ადამიანებში, მინიმალური რაოდენობით. ადამიანის ორგანიზმში მცირე შემცველობის მიუხედავად, მიკროელემენტები ჩვენი ჯანმრთელობის სასიცოცხლო კომპონენტებია. ადამიანის სხეული შეიცავს 70-ზე მეტ მინერალურ ნივთიერებას, მიკროელემენტები მონაწილეობს ყველა სასიცოცხლო პროცესში, რადგან მიკროელემენტების ასევე ძირითადი ფუნქციებია: მჟავა-ტუტე ბალანსის ნორმალიზება, სისხლის

წარმოქმნის, სეკრეციის და ძვლის ფორმირებაში მონაწილეობა, ოსმოსური წნევის მუდმივობის შენარჩუნება, ნერვული გამტარობის მართვა, უჯრედული სუნთქვის ნორმალიზება, იმუნურ სისტემაზე მოქმედება და კუნთების სრულფასოვანი შეკუმშვის უზრუნველყოფა. ცხადი ხდება, რომ მიკროელემენტები აუცილებელია ადამიანისთვის, რომ შეინარჩუნოს ფიზიკური და გონებრივი ჯანმრთელობა სათანადო დონეზე, ამიტომ, მუდმივი სტრესის პირობებში და უფრო და უფრო გაუარესებულ გარემოში ცხოვრებისას, აუცილებელია მეტი ყურადღება მიაქციონ არა მხოლოდ ვიტამინების, არამედ მინერალების მიღებას.

საინტერესო ფაქტია, რომ თმა ყველაზე სწრაფად რეაგირებს მიკროელემენტების დეფიციტზე, ეს არის თმის მდგომარეობის ანალიზი, რომელიც აჩვენებს ადამიანის სხეულში არსებული მიკროელემენტების ყველაზე ზუსტ რაოდენობას და მათ ხარისხს [29].

ორგანიზმის განვითარებისა და სასიცოცხლო ფუნქციებისათვის საჭირო მინერალური ნივთიერებები რაოდენობის მიხედვით იყოფა:

1. შეუცვლელ (რკინის, იოდის, კობალტის, მანგანუმისა და თუთიის),
2. სავარაუდოდ შეუცვლელი (ბრომი, მოლიბდენი, სელენი, ფტორის),
3. ფიზიოლოგიურად არააქტიური (ბერილიუმი, კადმიუმი).

ადამიანის ორგანიზმში მკაფიოდ ჩანს კავშირი და თავსებადობა მიკროელემენტებისა B ჯგუფის ვიტამინებთან. თავსებადობის პროცესს შეუძლია როგორც დადებითი, ასევე, უარყოფითი როლი შეასრულოს ვიტამინების ან მინერალების ასიმილაციისას.

ბევრი ვიტამინი და მიკროელემენტი ერთმანეთთან რეაქციაში არ შედიან, ანუ ნეიტრალურები არიან ერთმანეთის მიმართ.

დადებითი თავსებადობა:

- A ვიტამინი აუმჯობესებს რკინის ათვისებას
- ვიტამინი B₆ ზრდის მაგნიუმის ბიოწვდომას
- თუთია მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს D ვიტამინის შეთვისებას
- ვიტამინი E გაძლიერებულად მოქმედებს სელენის არსებობისას.

მიკროელემენტებისა და ვიტამინების შეუთავსებლობა:

- ვიტამინი B₉ ხელს უშლის თუთიის შეწოვას,
- კალციუმი, მაგნიუმი და თუთია ხელს უშლის რკინის შეწოვას,
- სპილენძი და რკინა აქვეითებს ვიტამინ B₁₂-ის მოქმედებას,
- კალციუმი კარგავს თავის ბიომეღწევადობას ფოსფორის თანდასწრებით.

ამ მახასიათებლების ცოდნით, შეგვიძლია ვარეგულიროთ დიეტა და მედიკამენტების მიღებისას ფრთხილად ვიყოთ. მიკროელემენტების დეფიციტს შეიძლება ჰქონდეს საზიანო გავლენა ადამიანის ორგანიზმზე.

მიკროელემენტების ნაკლებობის ძირითადი ნიშნებია:

დისბაქტერიოზი, ანემია, დაქვეითებული იმუნიტეტი, დაქვეითებული განვითარება, თმის ცვენა, ცუდი მონელება, ჭარბი წონა, დიაბეტის განვითარება, კანისა და ძვლების დაავადებები, გულ-სისხლძარღვთა დაავადებები, სექსუალური პრობლემები. მიკროელემენტების დეფიციტის მიზეზია ცუდი ან დაუბალანსებელი კვება, ან ადამიანი ცხოვრობს ეკოლოგიურად არასახარბიელო რეგიონში, სადაც არის ცუდი ხარისხის სასმელი წყალი. ასევე, წამლების უკონტროლო მიღებით, რომლებიც გავლენას ახდენენ მიკროელემენტების შემცველობაზე. მიკროელემენტები გავლენას ახდენს იმუნურ სისტემაზე.

მიკროელემენტების არსებობის აუცილებლობა დადასტურებულია მეცნიერების მიერ ჩატარებული კვლევებით, მიკროელემენტებს შეუძლიათ იმუნური სისტემის დამცავი მექანიზმების გაძლიერება, რაც სტიმულაციურ გავლენას ახდენს სხეულის ძირითადი ფუნქციების შესრულებაზე.

ზოგიერთი მიკროელემენტი (რკინა, იოდი, კობალტი, სპილენძი და მანგანუმი) მონაწილეობს ანტისხეულების წარმოქმნაში, ანადგურებს ბაქტერიულ ტოქსინებს [11,28].

დავახასიათებთ ცალკეული ელემენტის სიჭარბესა და დეფიციტის გავლენას ადამიანზე, რომელთა შესახებ ინფორმაცია მოპოვებულია სხვადასხვა ლიტერატურულ წყაროებში [29-34].

ისეთი მინერალები, როგორცაა სპილენძი და თუთია, წვრილ ნაწლავში შეწოვისას კონკურენციას უწევენ ერთმანეთს. ამასთან დაკავშირებით, თუთიის მოხმარების სასურველი მოცულობის გადაჭარბებამ შეიძლება გამოიწვიოს სპილენძის შეწოვის დონის დაქვეითება, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ამ უკანასკნელი მინერალის დეფიციტი. სპილენძს ადამიანის სხეული იყენებს რკინის შეწოვისთვის, რაც აუცილებელია სისხლის წითელი უჯრედების წარმოქმნისათვის, რომლებიც ჟანგბადს გადასცემენ ორგანოებსა და ქსოვილებს, ასევე, სისხლის თეთრი უჯრედების წარმოქმნისას, რომლებიც უზრუნველყოფენ იმუნურ სისტემას. ადამიანი მუდმივად ექვემდებარება პათოგენური გარემოს ფაქტორებს. ესენია: გამოსხივება, ელექტრომაგნიტური ველები, ულტრაბერითი ტალღები, მავნე ქიმიური ნაერთები და, რა თქმა უნდა, მიკროორგანიზმები. ყველა ეს ფაქტორი მოქმედებს დღისა და ღამის განმავლობაში, ცდილობს შეაღწიოს ორგანიზმში კანით, ლორწოვანი გარსებითა და ფილტვებით. ამ მავნე აგენტებს წინააღმდეგობას უწევს იმუნური სისტემა. იმუნური სისტემა არის საკმაოდ რთული, ფიგურალურად რომ ვთქვათ - ჯარი. ამ ჯარს აქვს საკუთარი ფილიალები და ჯარის ტიპები.

იმუნური სისტემის თავდაცვის პირველი ხაზი არის კანი. წმინდა მექანიკური ბარიერის გარდა, იგი ემსახურება როგორც "ფარი" სხვადასხვა საშიშ ნივთიერებათა ორგანიზმში შეღწევას. კანი ასეთ თვისებებს პიგმენტ-მელანინის წყალობით ფლობს. მელანინი ყალიბდება სპილენძის შემცველი ფერმენტის ტიროზინაზას ზემოქმედებით. ასე რომ, სპილენძი მონაწილეობს სხეულის რადიაციული დაცვის ფორმირებაშიც. მელანინის ნაკლებობით, მაიონებელი გამოსხივების გავლენის ქვეშ, კანის კიბო შეიძლება ჩამოყალიბდეს მელანომად. მელანინის ნაკლებობის ერთ-ერთი ნიშანი და, შესაბამისად, სპილენძის შესაძლო დეფიციტი, არის ჭადარა თმა, განსაკუთრებით ადრეული გაჭადარავება. კანის მსგავსად, ბარიერული დაცვის ფუნქციას ასრულებს პირის ღრუს, ცხვირისა და თვალების ლორწოვანი გარსები. როდესაც მიკროტრავმები, ბზარები და ნაკაწრები,

ლორწოვან გარსზე ჩნდება, სპილენძის შემცველი ცილები, ალბუმინატები ხელს უწყობს მათ გაჯანსაღებას.

თუ პათოგენური მიკრობი, როგორცაა ბაქტერია, შედის სხეულში, სავარაუდოდ, მოხვდება სისხლში და აქ მას მოუწევს „გაუმკლავდეს“ ცერულოპლაზმინს და სპილენძშემცველ სხვა ნაერთებს. ლითონის კომპლექსიდან გამოყოფილი სპილენძის იონი შემოიჭრება ბაქტერიაში და შეუერთდება ბაქტერიის ფერმენტებს. ჭარბი იონი არეულობას იწვევს მიკროორგანიზმების მეტაბოლურ პროცესებში, რაც მის დაღუპვის მიზეზი ხდება. ეს არის სპილენძის ანტიმიკრობული მნიშვნელობა.

დადგენილია, რომ სპილენძის შემცველი ფერმენტები ხელს უწყობენ ახალგაზრდა უჯრედების დიფერენციაციას. ექსპერიმენტულად დადასტურებულია, რომ სპილენძის პრეპარატები ხელს უშლიან ავთვისებიანი უჯრედების წარმოქმნას, ამლიერებენ კიბოს საწინააღმდეგო ქმედებას. სპილენძის დეფიციტი ზრდის ნეოპლაზმების ალბათობას. სპილენძის იონები, როგორც ბუტილკოენზიმი, დეჰიდროგენაზას ფერმენტის შემადგენელი ნაწილი, მონაწილეობენ ცხიმოვანი მჟავების გარდაქმნაში, რაც ხელს უწყობს ადენოზინდიფოსფორ მჟავას რესინთეზს, რომელიც ატფ-ად გარდაიქმდება და წარმოადგენს ორგანიზმში ენერჯის წყაროს. ასე რომ, სპილენძი მონაწილეობს ენერგეტიკული ცვლის პროცესებში.

ზრდასრული ადამიანის ორგანიზმი შეიცავს 150-200 მგ სპილენძს. საჭმელთან ერთად კუჭ-ნაწლავის ტრაქტში, სპილენძი უერთდება სატრანსპორტო ცილას - მეტალოთიონინს და შემდეგ შეიწოვება სისხლში.

ორგანიზმში სპილენძის ნაერთების გაზრდილი შემცველობა ძალიან ტოქსიკურია ადამიანისთვის. სპილენძის სიჭარბის მიზეზები:

- ჭარბი რაოდენობით მოხვედრა ორგანიზმში (სპილენძის ნაერთების ორთქლისა და სპილენძშემცველი მტვრის ჩასუნთქვა, წარმოების გარემოში საყოფაცხოვრებო ინტოქსიკაცია სპილენძის ნაერთებით, სპილენძის ჭურჭლის გამოყენება);

სპილენძის მეტაბოლიზმის რეგულირების დარღვევა.

სპილენძის სიჭარბისას გამოვლენილი ძირითადი სიმპტომები:

- ნერვული სისტემის ფუნქციური დარღვევები (მეხსიერების დაქვეითება, დეპრესია, უძილობა);
- სპილენძს ორთქლის ჩასუნთქვის დროს, შეიძლება გამოვლინდეს ეგრედ წოდებული "სპილენძის ცხელება" (ხილვები, ცხელება, ოფლიანობა, კუნთების დაბუჟება).
- მტვრის და სპილენძის ოქსიდის ზემოქმედებამ შეიძლება გამოიწვიოს ცრემლდენა, კონიუნქტივისა და ლორწოვანი გარსების გაღიზიანება, ყელის წვა, თავის ტკივილი, სისუსტე, კუნთების ტკივილი, კუჭ-ნაწლავის ტრაქტის ფუნქციის დარღვევა;
- ღვიძლისა და თირკმელების ფუნქციის დაქვეითება;
- ღვიძლის დაზიანება ციროზის განვითარებით და თავის ტვინის მეორადი დაზიანებით, რომელიც დაკავშირებულია სპილენძისა და ცილოვანი მეტაბოლიზმის მემკვიდრეობით უკმარისობასთან (ვილსონ-კონოვალოვის დაავადება);
- ალერგიული დერმატოზები;
- ათეროსკლეროზის განვითარების რისკის გაზრდა;
- სისხლის წითელი უჯრედების ჰემოლიზი, შარდში ჰემოგლობინის გამოჩენა, ანემია.

ორგანიზმში სპილენძის დეფიციტის და სიჭარბის კორექტირება

სპილენძით მდიდარი საკვები, განსაკუთრებით შოკოლადი, კაკაო, ავოკადო, ზღვის პროდუქტები, ღვიძლი, ისევე როგორც სპილენძის შემცველი პრეპარატები და დიეტური დანამატები შეიძლება გამოყენებულ იქნას სპილენძის დეფიციტის შესაჩერებლად.

- სპილენძის გადაჭარბებული დაგროვების დროს გამოიყენება როგორც დიეტოთერაპია, ასევე ჰეპატოპროტექტორები, ნაღვლმდენი მედიკამენტები, თუთიის, ბორის, მოლიბდენის შემცველი პრეპარატები.

- სპილენძის სამკურნალო ეფექტის გასაგებად, პირველ რიგში, აუცილებელია მისი მონაწილეობით ორგანიზმში მიმდინარე ფიზიოლოგიური პროცესების გამოვლენა.

მანგანუმის ყოველდღიური მოთხოვნილება დამოკიდებულია ასაკზე. მოზრდილებში საჭიროა 2.5-დან 5 მგ, 1-დან 15 წლამდე - 2 მგ.-მდე. მანგანუმი შედის ადამიანის სხეულში მცენარეული და ცხოველური საკვებით. უმეტესად გვხვდება ძროხის ღვიძლში, ხორცში, რძის პროდუქტებში, ანანასში, ბურღულეულში, ასკილში, პარკოსნებში, ჭარხლის ფოთლებსა და სტაფილოში. ხილიდან განსაკუთრებულად გამოყოფენ ანანასს.

მანგანუმი შედის ადამიანის სხეულში წყლის მეშვეობითაც. სანიტარული და ეპიდემიოლოგიური სტანდარტები არეგულირებს მის რაოდენობას სასმელ წყალში, რაც შეადგენს 0,1 მგ / ლ. ეს მნიშვნელოვნად უფრო მეტია, ვიდრე ევროპაში, სადაც მისაღებად მიიჩნევენ - 0.05 მგ / ლ. ამავე დროს, ცნობილია, რომ ჯანმრთელობის მსოფლიო ორგანიზაციის თანახმად, ითვლება, რომ მანგანუმის შემცველობა წყალში 0.5 მგ/ლ დოზით, უარყოფითად არ მოქმედებს ადამიანის ჯანმრთელობაზე.

მანგანუმი არის სხეულის ანტიოქსიდანტური სისტემის კომპონენტი. მანგანუმის საკმარისი რაოდენობა ხელს უწყობს ინსულინის ნორმალურ სინთეზს, არეგულირებს გლუკოგენეზის პროცესს.

ყველაზე ხშირად, ეს ელემენტი თან ახლავს რკინას და განსაზღვრავს ორგანიზმში ჟანგვა-აღდგენითი პროცესების მიმდინარეობას. მაგრამ ის ასევე შეიძლება შეგვხვდეს დამოუკიდებლადაც. ის გვხვდება წყალში და საკვებში. ეს მიკროელემენტი ყველასთვის აუცილებელია, ის მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ადამიანის ცხოვრებაში. კერძოდ, მას უშუალო გავლენა აქვს სასქესო ჯირკვლების ზრდასა და ფუნქციონირებაზე, მონაწილეობს სისხლის წარმოქმნის პროცესში. მიუხედავად ამისა, მანგანუმის მოქმედება ადამიანის სხეულზე ორგანოა: როგორც პოზიტიური, ასევე ნეგატიური. მძიმე მეტალები და მათ შორის მანგანუმი, სხეულში ყოველდღიურად შედის წყლით, რომელიც ზრდასრულ ადამიანს სჭირდება დღეში 2

ლიტრამდე. წვნიანის მომზადებისას ან დილის ყავის ტკბობისას, შეგვიძლია გამოუსწორებელი ზიანი მივაყენოთ ორგანიზმს, თუ წყალი შეიცავს მანგანუმის მინარევებს.

მანგანუმის ზედმეტობის ნეგატიურობა პირველ რიგში მოქმედებს ცენტრალური ნერვული სისტემის ფუნქციონირებაზე. მისი გადაჭარბებული რაოდენობა ვლინდება მუდმივი ძილიანობის, მეხსიერების უკმარისობის, დაღლილობის მომატების სახით. მანგანუმი არის პოლიტროპული შხამი, რომელსაც აქვს მავნე მოქმედება ფილტვების, გულ-სისხლძარღვთა სისტემის ფუნქციონირებაზე და შეიძლება გამოიწვიოს ალერგიული ან მუტაგენური მოქმედება. მანგანუმით მოწამვლის დოზა შეადგენს 40 მგ დღეში, ამ დროს აღინიშნება მადის დაქვეითება, ზრდის შეფერხება, რკინის მეტაბოლიზმი, ტვინის ფუნქციონირების დაქვეითება.

წყალში მანგანუმის არსებობის დადგენა შეიძლება მწკლარტე გემოსა და მოყვითალო ფერის მიხედვით; წყლის მილებში შავი ან მუქი ყავისფერი ნადები შეიძლება წარმოიქმნას. აქედან გამომდინარე, განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს სახლისთვის წყლის გამწმენდი სისტემის არჩევას. ადამიანის ორგანიზმში ამ მეტალების ჭარბი რაოდენობა გროვდება ღვიძლში, რომელთა გამოდევნა ხშირად შეუძლებელია. მანგანუმის მოქმედება ადამიანის სხეულზე ძალზე უარყოფითია, მაგრამ ეს შეიძლება არ იყოს სერიოზული დაავადებების ერთადერთი მიზეზი, მაგრამ გაუარესება სავსებით შესაძლებელია.

თუთია მონაწილეობს როგორც ეგზოკრინულ, ისე ენდოკრინული პანკრეასის ფუნქციონირებაში, მათ შორისაა გლუკაგონის სეკრეცია, საჭმლის მომნელებელი ფერმენტის აქტივაციის პროცესებში და ინსულინის სეკრეციისას. ამ ფართო ფუნქციური სპექტრის გათვალისწინებით, პანკრეასის თუთიის მეტაბოლიზმის დისრეგულაცია აუარესებს ბევრ პროცესს, მათ შორის გლიკემიურ კონტროლს და ასევე, ასოცირდება პანკრეასის კიბოსთან და ქრონიკულ პანკრეატიტთან.

თუთიას განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს ადამიანის სასქესო ფუნქციის ფორმირებისა და ეფექტური განხორციელებისთვის, რაც პირდაპირ კავშირშია იმუნიტეტის წარმოქმნასთან, სხეულის ზრდასა და განვითარებასთან, ჭრილობების შეხორცებასთან და ა.შ. ზოგი მეცნიერის აზრით, თუთიის დეფიციტი იწვევს ბავშვებსა და მოზარდებში ალკოჰოლიზმისა და ნარკომანიისადმი მიდრეკილების ჩამოყალიბებას.

თუთია 300-ზე მეტი ფერმენტის შემადგენლობაში შედის, მონაწილეობს ნახშირწყლების, ცილების, ცხიმების, ნუკლეინის მჟავების სინთეზსა და დაშლაში, რიგი გენების ექსპრესიის რეგულირებაში. არასაკმარისი მიღება იწვევს ანემიას, მეორად იმუნოდეფიციტს, ციროზს, სექსუალურ დისფუნქციასა და ნაყოფის განვითარების დარღვევას. ბოლო დროინდელმა გამოკვლევებმა გამოავლინა, რომ თუთიის მაღალი კონცენტრაციის დროს ფერხდება სპილენძის შეწოვა და ამით ვითარდება ანემია. დადგენილია, რომ დღიური დოზაა 9.5-15.0 მგ. თუთია გვხვდება ისეთ საკვებში, როგორცაა ხორცი, მყარი ყველი, კაკალი, კრევეტები და სხვა.

თუთიის გადაჭარბებული მიღებით პირველ რიგში ადგილი აქვს სპილენძის და რკინის მოსალოდნელ დეფიციტს. თუთიის სიჭარბემ შეიძლება გამოიწვიოს შემდეგი დაავადებები:

- რკინის დეფიციტის ანემია - ერითროციტების დაბალი დონის გამო;
- სიდერობლასტური ანემია - სისხლის წითელი უჯრედების ნაკლებობა, რომელიც გამოწვეულია რკინის შეწოვის გაუარესებით;
- ნეიტროპენია - სისხლის თეთრი უჯრედების დეფიციტი მათი წარმოქმნის დარღვევის გამო.

სპილენძის დეფიციტის გათვალისწინებით, თუთიის მაღალი შემცველობა არ არის რეკომენდებული. ამავე დროს, იმუნური სისტემა ქვეითდება, იმისდა მიუხედავად, რომ თუთია აუცილებელია იმუნური სისტემის ნორმალუზებისთვის. უმეტეს შემთხვევაში, სხეულის მსგავსი რეაქცია განპირობებულია ანემიის ან ნეიტროპენიის განვითარების გამო. ამასთან, იმუნური სისტემის გაუარესება, ასევე, შეიძლება გამოწვეული

იყოს თუთიის გავლენით სისხლში ზოგიერთ ელემენტზე. ერთმა კვლევამ აჩვენა, რომ ამ მინერალს შეუძლია შეამციროს T უჯრედების ფუნქციონირება, რომელსაც სხეული იყენებს მავნე ბაქტერიებისა და ვირუსების გასანადგურებლად. ამ უჯრედების რიგში შედის სისხლის თეთრი უჯრედები. თუმცა, სხვა გამოკვლევების შედეგები არ იყო ცალსახა. ასე რომ, ერთ კვლევაში, 150 მილიგრამი თუთიის გამოყენებამ დღეში ორჯერ გამოიწვია იმუნური სისტემის გაუარესება ერთ ჯგუფში, ხოლო მეორე ჯგუფში, ამ მინერალისაგან 110 მილიგრამის მიღება დღეში სამჯერ, დაეხმარა იმუნური სისტემის გაძლიერებას.

თუთია ადამიანის სხეულის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი მინერალია. თუთია აუცილებელია დნმ-ის სინთეზისთვის, გემოვნების რეცეპტორის ნორმალური ფუნქციონირებისთვის, იმუნიტეტის გასაძლიერებლად, ჭრილობების გაჯანსაღებისთვის, რეპროდუქციული ფუნქციის ნორმალიზებისთვის. მთელი რიგი გამოკვლევების ანალიზისას, მეცნიერებმა დაადგინეს, რომ ამ მინერალის მაქსიმალური დასაშვები რაოდენობა მოზრდილებისთვის 40 მგ.-ა. ასეთ მოცულობას არ შეუძლია გამოიწვიოს რაიმე გვერდითი მოვლენა, ხოლო მისმა ჭარბი რაოდენობა შეიძლება უარყოფითად იმოქმედოს ჯანმრთელობის მდგომარეობაზე.

ორგანიზმისათვის თუთიის მიღების ძირითადი ბუნებრივი წყაროა საქონლისა და ფრინველის ხორცი, მყარი ჯიშის მარცვლეული და ზღვის პროდუქტები. ხამანწკებს აქვთ თუთიის ყველაზე მაღალი შემცველობა. იმისდა მიუხედავად, რომ ზოგიერთ ბუნებრივ პროდუქტს აქვს ამ მინერალის მაღალი შემცველობა, რამდენჯერმე აღემატება მოხმარების მაქსიმალურ დასაშვებ რაოდენობას, საკვები პროდუქტების გამოყენების დროს თუთიის მოწამვლის შემთხვევები არასდროს დაფიქსირებულა. თუმცა, ძალიან ხშირია თუთიით მოწამვლა, საკვები დანამატებთან ერთად მოხმარებისას.

იმისათვის, რომ დროულად აღმოვფხვრათ ამ მიკროელემენტით მოწამვლა და ამისთვის მივიღოთ ყველა საჭირო ზომა, უნდა ვიცოდეთ თუ-

თიის სიჭარბისას გამოვლენილი სიმპტომები და ნიშნები. ესენია: გულისრევა და ღებინება, დიარია და მუცლის ტკივილი, გრიპის სიმპტომები.

განსაკუთრებით აღსანიშნავია თუთიის გავლენის თავისებურება ქოლესტერინზე. სისხლში "კარგი" ქოლესტერინის მაღალმა დონემ შეიძლება მნიშვნელოვნად შეამციროს გულ-სისხლძარღვთა სისტემის დაავადებების რისკი "ცუდი" ქოლესტერინის დონის შემცირების ხარჯზე, რომელიც არტერიების კედლებზე ქმნის ფოლაქებს და აფერხებს სისხლის ნაკადს. ზრდასრულთათვის "კარგი" ქოლესტერინის დონის დღიური ნორმაა 40 მგ.

ჩატარებული კვლევების ანალიზისას, რომელიც მიზნად ისახავს თუთიის გავლენას ქოლესტერინზე, აღმოჩნდა, რომ 50 მილიგრამი თუთიის მოხმარება ამცირებს "კარგი" ქოლესტერინის დონეს და არ ახდენს გავლენას "ცუდი" ქოლესტერინის დონეზე. ამავე დროს, მეცნიერებმა ასევე დაადგინეს, რომ დღეში 30 მილიგრამი თუთიის მოხმარება არანაირ გავლენას არ ახდენს ქოლესტერინის "კარგობაზე".

ასევე, აღსანიშნავია გარემოება, რომ თუთია აუცილებელია გემოვნების რეცეპტორებისათვის. ამ მინერალის დეფიციტმა შეიძლება გამოიწვიოს ჰიპოგევზიის განვითარება - მდგომარეობა, რომელშიც ადამიანი პრაქტიკულად არ გრძნობს საკვების გემოს. აღსანიშნავია ისიც, რომ თუთიის ზედმეტი მოხმარება, ასევე გემოს შეცვლის მიზეზია. ამ მინერალის დოზის გადაჭარბებამ, პირის ღრუში შეიძლება რკინის უსიამოვნო გემოს შეგრძნება გამოიწვიოს.

უმეტეს შემთხვევაში, ასეთი ცვლილებები შეინიშნება თუთიის საწუწნი აბების ან ხველების სიროფის გამოყენების დროს. ამასთან, აღსანიშნავია, რომ გემოვნების ცვლილებები შეიძლება გამოწვეული იყოს მინერალის შედარებით მცირე რაოდენობითაც კი, რომელიც არ აღემატება მაქსიმალურ დასაშვებ ნორმას. ერთ-ერთი გამოკვლევის დროს, 25 მგ თუთიის მიღებამ (საწუწნი აბების სახით) გამოიწვია გემოვნების შეცვლა ექსპერიმენტში მონაწილეთა 14 პროცენტში, ხოლო ხველების სიროფის გამოყენებამ მეტალის გემოს გაჩენა გამოიწვია მონაწილეთა 53 პროცენტში.

მაგრამ ამავე დროს, თითოეული მონაწილისათვის ეფექტის ხანგრძლივობა ინდივიდუალური იყო. ამიტომ, თუთიის შემცველი სიროფისა და საწუწნი აბების გამოყენებისას უნდა გვახსოვდეს, რომ რეკომენდებული ნორმების დაცვისასაც კი, შეიძლება მივიღოთ გვერდითი ეფექტები.

1.4. მიკროსასუქების ნაირსახეობა და მათი დანიშნულება

როგორც აღინიშნა დღეისთვის სოფლის მეურნეობაში გამოიყენება არაერთი სახეობის მიკროელემენტშემცველი სასუქები, რაც განსაზღვრავს მათ მრავალ სახეობას. სოფლის მეურნეობაში ეფექტურობით წამყვანი ადგილი უკავია და ფართოდ გამოიყენება ჰელატები – მიკროელემენტისა და ციკლური სტრუქტურის მქონე ჰელატური აგენტის ქიმიური შენაერთები. ისინი წარმოიქმნებიან ლითონის იონების ურთიერთქმედებით ლიგანდებთან. ჰელატები შეიცავენ ცენტრალურ იონს (ნაწილაკს) კომპლექსწარმომქმნელს და მის გარშემო კოორდინირებულ ლიგანდებს [35-37] .

ჰელატებს აქვთ ბევრი უპირატესობა, ერთერთი მდგომარეობს მათ ბიოაქტიურობაში, მაგრამ არანაკლებ მნიშვნელოვანი ფაქტორია მათი მცენარეთა მიერ ადვილად შეთვისებადობა.

ნიადაგში შეტანისას, ჰელატის ეფექტურობა განისაზღვრება ჰელატის კომპლექსის სტაბილურობით, ანუ ლითონის გამონთავისუფლების დროს თუ როგორ ჩანაცვლდება ის სხვა კათიონით. რაც უფრო დაბალია ეს დონე მით უფრო დიდი ხანი რჩება მიკროელემენტი ჰელატირებულ მდომარეობაში და მით უფრო მაღალია სასუქის ეფექტურობა. ნიადაგში ამ სახით შეტანისას მიკროელემენტები 2,5-ჯერ უფრო ეფექტურები ხდებიან, ვიდრე არაორგანული ნაერთები, თუმცა მათი ღირებულება 100-ჯერ უფრო ძვირია, მათი ქიმიური შედგენილობიდან გამომდინარე [38].

სხვადასხვა მიკროსასუქებში სხვადასხვა ჰელატურ აგენტს იყენებენ: EDTA – ეთილენ დიამინტეტრაამმარმჟავა სტაბილურია pH 1,5-დან 6,0-მდე;

DTPA – დიეთილენიამინპენტამარმჟავა სტაბილურია pH 1,5-დან 7,0-მდე; EDDHA–ეთილენდიამინი(2-ჰიდროქსი)მმარმჟავა-სტაბილ. pH 3,0-10-მდე.

ცნობილია რომ, რაც უფრო უკეთესია ჰელიტური აგენტი მით უფრო სტაბილურია ის წყალხსნარში, რაც ზრდის სასუქის ეფექტურობასა და მიკროელემენტის ათვისებას მცენარის მიერ. მაგალითისათვის, თუ შევადარებთ მიკროელემენტების რამდენიმე ჰელატს მარილებს (სულფატებს კარბონატებს და სხვა) შეიძლება ითქვას რომ ჰელატები ლიგნინების საფუძველზე ათვისება 4-ჯერ, ციტრატების საფუძველზე 6-ჯერ, ხოლო კლასიკური ჰელატური აგენტების საფუძველზე კი-8-ჯერ უკეთესად [39,40].

ჰელატური მიკროელემენტების წარმოება მუდმივად სრულყოფილდება, მათ შემადგენლობაში შეჰყავთ ამინომჟავები, მონო და ოლიგოსაქარიდები, ასევე, ვიტამინები. ჰელატური მიკროსასუქების შემადგენლობაში დამატებითი კომპონენტების შეყვანის ხარჯზე შექმნილია უფრო ეფექტური ნაირსახეობები: რაიკატები, ამინოკატები, კალკატები და სხვ. ზოგიერთი ჰელატური მიკროსასუქი მიღებულ იქნა ბუნებრივი კომპონენტების საფუძველზე, ნატურალური ორგანული ნივთიერებების ჩათვლით, რომელსაც მცენარეული ორგანიზმი ცხოველქმედების პროცესში იყენებს. მათ აქვთ სტაბილურობის მაღალი დონე, საკმარისი იმისათვის, რომ ეს კვებითი პროდუქტები თავისუფლად შეერიოს ფოსფორის მარილებს ფოსფატების მცენარეებში დალექვის გარეშე. ჰელატურ აგენტად იყენებენ, ასევე, ფულვომჟავებს, ხის საწარმოს ნარჩენებსა და სხვადასხვა ცილების ჰიდროლიზის პროდუქტებს. დღეისათვის, დამატებით კომპონენტად იყენებენ სალიცინის მჟავის დაბალ კონცენტრაციებს, სილიციუმის ორგანო-მინერალურ ნაერთებს, ქარვის მჟავას, ჰიბბერელინს, ჰეტეროაუქსინს[41].

რეკომენდირებულია ჰელატების ნიადაგში შეტანა უშუალოდ დათვის წინ თხევად სასუქებთან და პესტიციდებთან ერთად. ლითონების ჰელატები განსაკუთრებით ეფექტურია ნიადაგის მაღალი pH-ისას, რადგან

ასეთ პირობებში ლითონის იონები ქმნიან ნაერთებს, რომლებიც ნაკლებად მისაწვდომია მცენარეთათვის.

ნიადაგში ჰელატების შეტანით ყველაზე მაღალი პროლონგური ეფექტი მოსალოდნელია ნეიტრალური და ტუტე pH-ის მქონე ნიადაგებზე, რადგან ამ პირობებში ელემენტები-ლითონები გადადიან მცენარისათვის ნაკლებად მისაწვდომ ფორმაში. მჟავე ნიადაგებში, არაორგანული მარილები შეიძლება უფრო ეკონომიკურად მომგებიანი და უფრო ეფექტური იყოს.

ჰელატების შეტანა ფოთლოვანი კვებისათვის დღესდღეობით ყველაზე გავრცელებული პრაქტიკაა. ფოთლების ზედაპირზე ჰიდროფობური ცვილის საფარი ამცირებს არაორგანული ნაერთების წყალხსნარების ეფექტურობას. მიუხედავად ამისა, ორგანული მოლეკულები, უფრო ახლოს არიან ცვილებთან, ისინი ლითონებს აძლევენ საშუალებას შეაღწიონ ფოთოლში.

მიკროსასუქების წარმოებაში გამოყენებული ჰელატირებული აგენტი, პირობითად, იყოფა ორ ჯგუფად:

ჯგუფი 1 - კარბოქსილის ჯგუფების შემცველი: EDTA, DTPA, EDDHA, HEEDHA, EDDHMA, EDDCHA ;

ჯგუფი 2 - ჰელატები ფოსფორმჟავას საფუძველზე: OEDPA, NTP, EDTP [41,42].

DTPA ძირითადად გამოიყენება ტუტე ნიადაგებში, სადაც მას აქვს მაღალი ეფექტურობა EDTA-თან შედარებით და უფრო მაღალი ფასიც. ტუტე ნიადაგში რკინის შესატანად გამოიყენება HEDTA და EDDHA. EDDHMA დაფუძნებული ხელატები ძალიან ეფექტურია, მათი გამოყენება შეიძლება pH-ის 3,5-დან 11,0 ინტერვალში. ეს ნივთიერებები არის უმაღლესი ხარისხის ხელმისაწვდომი სინთეზური ჰელატური აგენტები და ეფექტური ყველა გარემოში. EDDHMA-ს ნაერთებისაგან, მცენარეები უფრო მეტ რკინასა და თუთიას იღებენ ვიდრე ეს EDTA-დანაა შესაძლებელი.

შეუძლებელია ცალსახა პასუხი გაეცეს კითხვაზე, თუ რომელი კომპლექსი უნდა იქნას გამოყენებული ბიოლოგიურად აქტიური

ელემენტების მაქსიმალურად მისაღებად: კომპლექსები თავად არიან პრაქტიკულად ინერტული მცენარეებისთვის.

მთავარი როლი ეკუთვნის ლითონის კათიონს და კომპლექსონი ასრულებს ტრანსპორტის როლს, რომელიც უზრუნველყოფს მცენარისათვის მათ მიღებას. მაგრამ, სწორედ კომპლექსონი განსაზღვრავს საბოლოოდ სასუქის მიღების ეფექტურობას. თუ შევადარებთ არაორგანული მარილების მცენარეების ელემენტების ასიმილაციასა და მათი ჰელატის ნაერთებს, ლიგნინების საფუძველზე მიღებული ნაერთები შთაინთქმება 4-ჯერ უფრო მეტად, ციტრატებისაზე 6-ჯერ და EDTA-ს, OEDF-ს, DTPA-ზე დაფუძნებულისა კი 8-ჯერ.

გარდა ჰელატირებული აგენტისა, კიდევ ერთი მაჩვენებელი განსაზღვრავს მიკროსასუქების ეფექტურობას - ეს არის ჰელატირების ხარისხი (ანუ, მიკროელემენტის რამდენი პროცენტი არის ჰელატირებულ ფორმაში და რამდენი თავისუფალი სახითაა წარმოდგენილი).

ჰელატურ ფორმაში მიკროელემენტების გამოყენებას აქვს მთელი რიგი უპირატესობა. ეს უფრო ტექნოლოგიური პროცესია მარილების გამოყენებასთან შედარებით. ჰელატურ ფორმაში მიკროსასუქების გამოყენებისას არ არის საჭირო მათი წინასწარ წყალში გახსნა, რადგან ისინი თვითონ წარმოადგენენ წყალხსნარს. მარილის ფორმით მიკროსასუქების გამოყენებისას აუცილებელია ჯერ მისი გახსნა წყალში და შემდეგ სხვა ხსნარებში გარევა. ამასთანავე, მარილების მნიშვნელოვანი ნაწილი იხსნება მხოლოდ თბილ წყალში.

რაც შეეხება მიკროელემენტების შემცველ არაორგანულ ნაერთებს-მარილებს, რომლებიც ხშირად გამოიყენება მიკროსასუქებად-აქაც არსებობს გარკვეული წინააღმდეგობრივი მონაცემები. მოკლედ რომ დახასიათდეს არსებული პრობლემა, გასათვალისწინებელი ხდება მიკროელემენტებად ცნობილი მეტალების მდგრადი მარილების წყალხსნადობის გათვალისწინება (ცხრილი 2) [43-45].

ცხრილში მოყვანილ ნაერთთა წყალხსნადობა მკვეთრად განსხვავდება ერთმანეთისაგან. გამოყოფილი ბორის მჟავას დაბალ ხსნადობას, რაც ხელს უშლის მის ნიადაგში წყალხსნარის სახით გავრცობას და აქედან ის ნაკლებადაა ეფექტური ფესვთა კვების თვალსაზრისით.

განსხვავებული თვისებებით – მაღალი ხსნადობით, გამოირჩევა სხვა მიკროელემენტების შემცველი სულფატური ნაერთები, რომელთა გამოყენება ნაკლებად არის ეფექტური იმ მიზეზების გამო, რომ ადვილად ჩაირეცხებიან ნიადაგის ისეთ ფენებში, სადაც მცენარეთა ფესვთა სისტემა ვერ აღწევს.

განსაკუთრებული ადგილი მიკროსასუქებში კიდევ ორი სახეობის მასალებს უკავიათ. ესენია: მთის ქანების გადამუშავებით მიღებული მიკროელემენტების შემცველი ნარჩენები და შეცხოვა-ლლობით მიღებული ხელოვნური კომპოზიტები, რომლებშიც ხელოვნურად, მაგრამ რეგულირებადი რაოდენობით მიკროელემენტებშემცველი ნაერთები შეიტანება.

ბუნებრივი ქანების და მათი გადამუშავების შედეგად მიღებული ნარჩენების მიკროსასუქებად გამოყენების საკითხს დიდი ხნის ისტორია აქვს. აღნიშნული, უშუალოდ უკავშირდება კარგად ცნობილი, არაორგანული ბუნების მიკროსასუქების თვისებებსა და აქედან, მათ გამოყენებასთან დაკავშირებულ უარყოფით მხარეებს.

ჩატარებული სამუშაოებიდან პირველ რიგში უნდა აღინიშნოს ბორშემცველი ქანების – დატოლიტის და თურმალინის სახელწოდებით ცნობილი წიაღისეულის ბორის მჟავაში გარდაქმნის შედეგად წარმოქმნილი საწარმოო ნარჩენები. აღნიშნული ქანების გადამუშავების შედეგად ნარჩენი შლამები, მათი გაუწყლოების და შემდგომი დაკომპტვის შემდეგ, მიჩნეულია დამაკმაყოფილებელი თვისებების მქონე ბორშემცველ სასუქად. კიდევ ერთი მიდგომით, ბორშემცველი ქანების ხსნად ფორმაში გადასაყვანად მოსინჯული იქნა კირქვათურმალინის ნარევის შეცხოვა, როდესაც ბორის შემცველობა 1%-ს შეადგენდა და დადგინდა, რომ ბორის ამ რაოდენ-

ნობიდან მისი შემცველობის მხოლოდ ნახევარი აღმოჩნდა მცენარეთა მიერ ათვისებად ფორმაში.

ცხრილი 2. მიკროელემენტშემცველი არაორგანული ნაერთების წყალხსნადობა [46,47]

№	მიკროელემენტი (ქიმიური სიმბოლო)	მიკროსასუქად გამოყენებული ფორმა (ნაერთი) და მისი წყალში ხსნადობა		
		ქიმიური ფორმულა	ხსნადობა (გ/100 გ H ₂ O)	
			20°C	100°C
1	ბორი (B)	H_3BO_3	5	40,3
2	მაგნიუმი (Mg)	$MgSO_4$	36	68
		$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	71	91
3	თუთია (Zn)	$ZnSO_4$	54,4	80
		$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	96,5	663,6
4	სპილენძი (Cu)	$CuSO_4$	20,7	75,4
		$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	31,6(0°C)	203,3
5	მანგანუმი (Mn)	$MnSO_4$	64	35
6	კობალტი (Co)	$CoSO_4$	34,4	76,1

ჩატარებული სამუშაოებიდან პირველ რიგში უნდა აღინიშნოს ბორშემცველი ქანების – დატოლიტის და თურმალინის სახელწოდებით ცნობილი წიაღისეულის ბორის მჟავაში გარდაქმნის შედეგად წარმოქმნილი საწარმოო ნარჩენები. აღნიშნული ქანების გადამუშავების შედეგად ნარჩენი შლამები, მათი გაუწყლოურების და შემდგომი დაკომპტვის შემდეგ, მიჩნეულია დამაკმაყოფილებელი თვისებების მქონე ბორშემცველ სასუქად. კიდევ ერთი მიდგომით, ბორშემცველი ქანების ხსნად ფორმაში გადასაყვანად მოსინჯული იქნა კირქვა-თურმალინის ნარევის შეცხოვა, როდესაც ბორის შემცველობა $\approx 1\%$ -ს შეადგენდა და დადგინდა, რომ ბორის ამ რაოდენობიდან მისი შემცველობის მხოლოდ ნახევარი აღმოჩნდა მცენარეთა მიერ ათვისებად ფორმაში.

უფრო ღრმა თერმული დამუშავებით 1250-1300°C მიღებული იქნა ბორშემცველი დატოლიტის ნადნობი, რომლის გადაცივებული სახეობის

დაფქვით მიღებული ფხვნილოვანი მასალები დიდი ოდენობით შეიცავდა ბორის წყალში ხსნად ნაერთებს [48,49].

მიღებულია აგრეთვე ე.წ. თერმობორატები, რაც ტუტე და ტუტემიწა ელემენტთა კარბონატებისა (ძირითადად: სოდა და ცარცი) და თურმალინის შეცხოვით. მათში ელემენტარული ბორის შემცველობა 1,5–2%-ს შეადგენდა, რომელთაგან წყალხსნად ფორმაში მყოფი ბორის შემცველობა ნახევარზე ნაკლებია (დაახლოებით 0,6 – 1,1 %).

სპილენძთან მიმართებაში შეიძლება განვიხილოთ სპილენძშემცველი ქანების და შესაბამის მეტალურგიულ წარმოებათა ნარჩენი წიდეები. დადგენილია, რომ ამ სახის მასალა სპილენძს შეიცავს ნაკლებადმოდრავ და მცენარეთა მიერ ძნელად მისაწვდომ ფორმაში. მაგრამ, თუ ნიადაგი ფხვიერია და მასში შესაძლებელია ჟანგვის (გამოფიტვის) პროცესების წარმართვა, მაშინ მცენარეთათვის ძნელადმისაწვდომი ფორმიდან, სპილენძი მისაწვდომი სახით წარმოგვიდგეს. სპილენძშემცველ წიდეებთან მიმართებაში უნდა აღინიშნოს, რომ მათი დაწვრილმანება-დაფქვა (ფხვნილის სახეობამდე დაყვანა) ზრდის წიდეების ეფექტურობას, მაგრამ მისი თვისებადობა ახლოსაც ვერ მიდის $CuSO_4$ -თან.

მანგანუმთან მიმართებაში ლიტერატურაში მოიპოვება მონაცემები, რომელთა თანახმად მანგანუმშემცველი შლამები (მანგანუმის შემცველი მადნების გამდიდრების კუდები) მანგანუმშემცველ სასუქად პრაქტიკულად უვარგისია. მცენარეთა კვებაში ეფექტური აღმოჩნდა მანგანუმშემცველი წიდეები (სილიკომანგანუმის და ფერომანგანუმის დროებით მიღების საწარმოო პროცესის ნარჩენი). აღნიშნული წიდეებიდან მცენარეთა განსაკუთრებული ეფექტურობით გამოირჩევა სილიკომანგანუმის წიდა, რომელიც ფერომანგანუმის წიდასთან შედარებით 20–30%-ით ზრდის ერთწლიანი მცენარეული კულტურების მოსავლიანობას [49].

არანაკლებ ეფექტური აღმოჩნდა საქართველოს პირობებში არსებული მანგანუმშემცველი სამრეწველო შლამების (მანგანუმის დიოქსიდის მისა-

ლები საწარმოო ნარჩენები) გამოყენება სხვადასხვა სახის კულტურების მოსავლიანობის ზრდასთან მიმართებაში [50,51].

მინისებრი სასუქები-ეს არის წყალში უხსნადი სასუქები, რომელშიც შეზოჭილია და ნაკლებად მოძრავია (მცენარეებისათვის მისაწვდომობით) სხვადასხვა მიკროელემენტი. ასეთი ტიპის სასუქებს იყენებენ მსუბუქი ტიპის ნიადაგებზე, რომელზეც უხვი ნალექი მოდის და მინერალების ადვილად გამორეცხვა ხდება. ამ საკითხს დიდი ხნის ისტორია აქვს და მინისებრი (ფრიტები) სასუქების თაობაზე განსხვავებული აზრი არსებობს [52-54].

ბოლო დროს, მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყნებში აქტიურდება მინისებრი მიკროსასუქების შესწავლა, მიღება და გამოყენება. შემუშავებულ იქნა ტექნოლოგია, რომლის საშუალებითაც იწარმოება ნაკლებად მოძრავი მიკროელემენტუმცველი, კერამიკული მიკროსასუქები, ე.წ. კერამიკული მიკროსასუქების მიღება ხდება სხვადასხვა მინის ლეწისა და მიკროელემენტების შემცველი მასალისგან [55-57].

განვიხილოთ კერამიკული ბორშემცველი მიკროსასუქები-ფრიტები, რომლებიც მიღების ხერხებითა და ბორის შემცველობით შეიძლება იყოს სხვადასხვანაირი. მაგალითად: ფრიტა „I კ“ მზადდება სამკომპონენტური, ადვილდნობადი მინის და ბორის მჟავას შედნობით. მასში ბორის საერთო შემცველობა 10,9 %-ს შეადგენს.

ფრიტა „I ფ“ მზადდება დაფშვნილი სამკომპონენტური მინისა და ბორის მჟავას ფრიტირებით (შეცხობით). მასში ბორის საერთო შემცველობა 7,4 %-ია.

ფრიტა „III ფ“ მზადდება საფანჯრე დაფშვნილი მინისა (წმინდა ნატეხები) და ბორის მჟავას „შეცხობით“, მასშიც 7,4%-ია ბორის საერთო შემცველობა.

წყალში უხსნადი ბორშემცველი ფრიტების მთავარი ფასეულობა, როგორც სასუქისა, მდგომარეობს იმაში, რომ მიუხედავად მათი უმნიშვნელო ხსნადობისა, მცენარისათვის მიკროელემენტი

ხელმისაწვდომია. ეს თვისება იმის საშუალებას იძლევა, რომ ნიადაგში მათი შეტანა შეიძლება დიდი რაოდენობით.

იმის განსაზღვრა ფრიტაში, ბორი წყალში ხსნადია თუ უხსნადი, მნიშვნელოვანია, ვინაიდან წყალში ხსნადი ბორის შემცველი ფრიტების შეტანა ნიადაგში, ისევე, როგორც უხსნადის, არ შეიძლება, რადგან ორივე მდგომარეობა საბოლოო ჯამში - არაეფექტურია.

გარკვევა იმისა, რომ ფრიტაში ბორი წყალში ხსნადია თუ არა, შემდეგნაირად ხდება: ბორშემცველ ფრიტას წონიან ანალიზურ სასწორზე და ათავსებენ კვარცის 30 მლ ტევადობის ჭიქაში. შემდეგ ჭიქაში ასხამენ დისტილირებულ მდუღარე წყალს და მინის წკირით 10 წთ-ის განმავლობაში ურევენ. შემდეგ, ჭიქას აფარებენ მინის ხუფს და დღე-ღამის განმავლობაში ფრიტას ნაწილაკების დასალექად ტოვებენ. მეორე დღეს ხსნარს, რომელიც ნალექის თავზეა დარჩენილი, სიფონით გადმოღვრიან და ინახავენ მას შემდგომში ბორის შემცველობის განსასაზღვრად. ნალექს კვარცის ჭიქაში ისევ ასხამენ მდუღარე წყალს და 10 წუთიანი მორევის შემდეგ ტოვებენ დღე-ღამის განმავლობაში. მეორე დღეს ხსნარს სიფონით ისევ გადმოასხამენ და წინა დღის ხსნარს ამატებენ. ნალექს ჭიქიდან გადაიტანენ წინასწარ აწონილ მჭიდრო ფილტრზე და გადაავლებენ დისტილირებულ წყალს. ამ წყალსაც უმატებენ წინა დღეებში აღებულ ხსნარს. გაშრობის შემდეგ, ფილტრს ცალკე წონიან ანალიტიკურ სასწორზე. ხსნადი ბორის რაოდენობა ისაზღვრება ფრიტას საწყის წონასა და გამორეცხლი ფრიტის წონების შედარებით, პროცენტულად. შესაბამისი კვლევების საფუძველზე, დადგინდა, რომ ზევით ჩამოთვლილი ფრიტებიდან ყველაზე დიდი ოდენობით წყალში ხსნად ბორს შეიცავს ფრიტა „I პე“ [58].

მიზნობრივად ჩატარებული სავსე ექსპერიმენტით დადგინდა, რომ ფრიტები თავისი ეფექტურობით, მცირედით ჩამოუვარდება ბორის მჟავას. ფრიტები ერთმანეთისაგან განსხვავდება ეფექტურობით. ყველაზე ეფექტური წარმოდგენილთა შორის არის ფრიტა „I ფ“. ვინაიდან მასში

ხსნადი ბორი უფრო მეტია, ვიდრე სხვებში და მცენარეები უკეთ ითვისებენ ამ მიკროელემენტს, სხვა ფრიტებთან შედარებით.

1.5. კვლევის ამოცანები და გადაჭრის გზები

ესენციური მიკროელემენტების როლი ძალიან მნიშვნელოვანია ცოცხალი ორგანიზმებისათვის, ვინაიდან ისინი წარმოადგენენ მნიშვნელოვან კატალიზატორებს, სამშენებლო მასალას და წარმართავენ სასიცოცხლო პროცესებს. მათ განსაკუთრებული როლი უკავიათ ადამიანის ორგანიზმისთვისაც. ზრდა-განვითარებისა და სასიცოცხლო პროცესების სრულფასოვნად წარმართვაში ყველაზე მნიშვნელოვანია მიკროელემენტების შემცველობისა და საჭირო დოზირების ცოდნა, რაც ხორციელდება სხვადასხვა საკვებში, გარემოში, მედიკამენტებში მიკროელემენტების რაოდენობის შესწავლით. შესაბამისად, როცა ვიცით, რომელი ელემენტი რა დოზით რა გავლენას ახდენს ორგანიზმზე, ჩვენ შეგვიძლია დავაბალანსოთ თითოეული მიკროელემენტის ოდენობა, რათა უზრუნველვყოთ ორგანიზმში სწორი სასიცოცხლო პროცესების მომდინარეობა.

ჩვენს მიერ ჩასატარებელ სამუშაოში, დასახულ იქნა მიზანი - რამდენიმე მიკროელემენტის შემცველი მინისებრი მასალის მიღება და მისი, როგორც პროლონგური ქმედების კომბინირებული მიკროსასუქის, პერსპექტიულობის დადგენა. აღნიშნულის აუცილებლობას ქმნიდა კარგად ცნობილი ფაქტი, რომ ქიმიური ელემენტების გარკვეული სახეობა, როგორც თავისუფალ, ასევე ქიმიურ ნაერთთა სახით წარმოადგენს ცოცხალი ორგანიზმის უჯრედებისა და ქსოვილების განუყრელ ნაწილს. აღნიშნულს განაპირობებს მათი განსაკუთრებული როლი ორგანიზმში მიმდინარე ბიოქიმიური პროცესების წარმართვაში. მიკროელემენტების ცოცხალ ორგანიზმში მოხვედრის ძირითად წყაროს წარმოადგენს მცენარეული საკვები, რომელშიც მათი შემცველობა ყოველთვის ვერ შეესატყვისება სასურველს. აღნიშნულის მიზეზი ნიადაგების გამოფიტვაა და მიკროელემენტების ნაკლებობის კომპენსაცია მათი ნიადაგში ხელოვნური

შეტანით ხდება. დღეისათვის ცნობილია წყალხსნადი არაორგანული (მანგანუმის, კობალტის, რკინის და სხვა მიკროელემენტთა სულფატები; ბორის მჟავა და ა.შ.) და ორგანული (ე.წ. ჰელატები: თითქმის ყველა მიკროელემენტის) მიკროსასუქები, რომლებიც ფართოდ გამოიყენება მცენარეთა ხელოვნური კვებისათვის. აღნიშნული ნაერთების ეფექტურობა კარგადაა ცნობილი, მაგრამ მათ გააჩნიათ ერთი საერთო ნაკლი – ისინი ხსნარების სახით გამოიყენება და ამავე დროს გამორჩეულად მაღალი წყალხსნადობის გამო (ბუნებრივი და ხელოვნური მორწყვის პირობებში) ჩაირეცხებიან გრუნტის სიღრმისეულ ფენებში, „გადიან“ მცენარეთა ფესვთა კვების ზონიდან და აქედან ნაკლებად ეფექტურნი ხდებიან. მოყვანილ გარემოებას კიდევ ორი უარყოფითი მხარე ემატება – მათი გამოყენება, როგორც წესი, სეზონური ყოველწლიური ხასიათისაა, ხოლო გრუნტის წყლებში მათი მოხვედრა შემდგომი წყლის არტერიებისა და საცავების დაბინძურების წინაპირობას ქმნის. აღნიშნული ნაკლი არ გააჩნია მიკროელემენტების შემცველ წყალმდეგ და შერჩევითი ხსნადობის მქონე მყარ მასალებს. ვინაიდან მიკროელემენტების როლი განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მცენარეული კულტურებისთვის, მყარი და ამავედროულად პროლონგური ქმედების მიკროსასუქების ეფექტურად გამოყენება მოითხოვს მათი საჭირო დოზირების ცოდნას, რაც ხორციელდება სხვადასხვა ნიადაგის და ნიადაგში მიკროელემენტების რაოდენობის შესწავლით. შესაბამისად, როცა ვიცით, რომელი ელემენტი იქნება პირველ რიგში კონკრეტული მცენარის მიერ ათვისებული ნიადაგიდან, ჩვენ შეგვიძლია დავაბალანსოთ თითოეული მათგანის მინერალური კვება, რათა უზრუნველყოთ მათი სწორი ზრდა და განვითარება.

პერსპექტივაში ნიადაგის ხასიათიდან გამომდინარე შერჩევითი ხსნადობის მქონე და ამავედროულად პროლონგური (ხანგრძლივი) ქმედების მიკროსასუქების მიღება, რაც ჩვენი კვლევის მიზანს წარმოადგენდა, დაიგეგმა მინის და კერამიკის ტექნოლოგიაში ცნობილი ხერხებით და ითვალისწინებდა მინისებრი მინაკრისტალური ან შეცხოებილი

მასალების (ბოლო ორი მასალა ფაზათა მრავალი სახეობებიდან გამომდინარე, კომპოზიტებს მიეკუთვნება) მიღებას. ასეთი მიკროელემენტმცველი მასალები სხვადასხვა ფორიანობის და მარცვლების გრანულომეტრიით შეიძლება დამზადდეს, რაც მათ შედგენილობასთან ერთად ზოგადად ხსნადობის მარეგულირებელ ფაქტორს წარმოადგენს. სილიკატური დარგის ტექნოლოგიათა საფუძველზე და სასურველი თვისების მატარებელი მინებისა და მინაკრისტალური მასალების პროექტირებაში და კვლევაში არსებული ცნობილი მიდგომების გამოყენებით, რომელიც მომდევნო თავში იქნება აღწერილი. აღნიშნულის გათვალისწინებით ჩვენს მიერ დაიგეგმა ექსპერიმენტი, რომლის მიზანს წარმოადგენდა ოთხი სახეობის მიკროელემენტმცველი მასალების მიღება, რომელიც მიზნობრივად გამოყენებული უნდა ყოფილიყო მიკროსასაქის სახით. უფრო კონკრეტულად, ეს ოთხი მიკროელემენტია Zn, Mn, Cu, B, რომლებიც, როგორც ცნობილია, აქტიურ როლს ასრულებენ მცენარეთა ზრდა-განვითარებასა და ნაყოფიერების ზრდაში.

დასახულ ამოცანათა მიზნობრივ გადაწყვეტასა და ჩატარებულ სამუშაოთა ძირითადი შინაარსი და შედეგები წარმოდგენილია ჩვენს მიერ გამოქვეყნებულ შრომებში [59-62].

2. კვლევა, შედეგები და მათი განსჯა

როგორც აღინიშნა, ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევის მიზანს წარმოადგენდა პოლიმიკროელემენტებზემცველი 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.

ჩატარებული სამუშაოს ექსპერიმენტული ნაწილი მოიცავდა კაზმების შედგენას, საკვლევ მასალათა სინთეზს და კვლევას. ამისათვის, კვლევის ყოველ კონკრეტულ ეტაპზე საჭირო გახდა კვლევის სხვადასხვა ხერხის ან მეთოდის გამოყენება. ჩვენს მიერ ექსპერიმენტის მსვლელობისას ჩატარებული კვლევა 4 ძირითად მიმართულებად დაიყო:

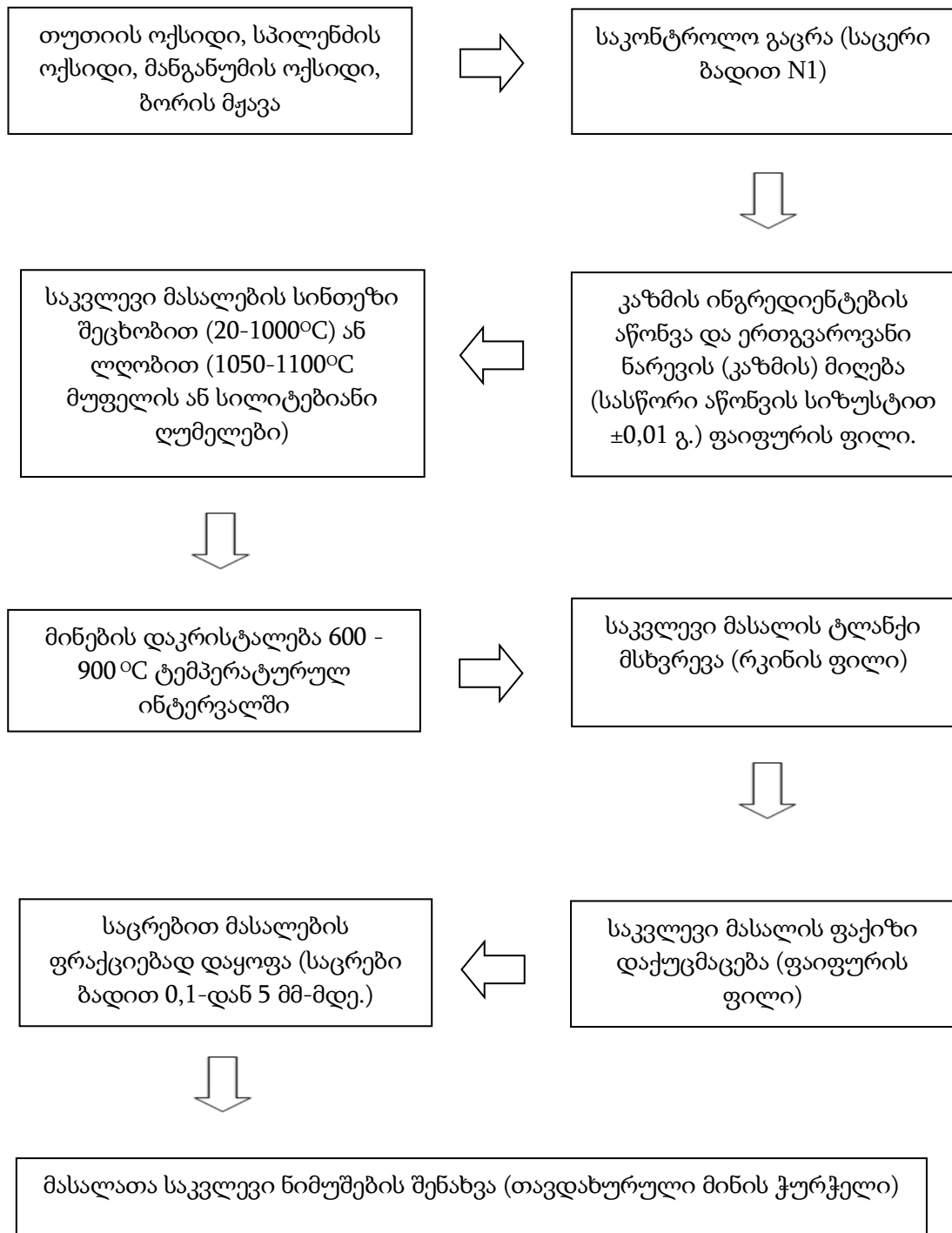
1. ნედლეული მასალების (კაზმის კომპონენტების) აწონვა, კაზმის შედგენა, კაზმებიდან საკვლევ მასალათა მიღება და მომზადება შემდგომი კვლევისთვის;
2. სინთეზირებული მასალების სიმკვრივის და ხსნადობის უნარის დადგენა სხვადასხვა ხასიათის ტესტურ რეაგენტებში;
3. შუალედური (თერმულად დამუშავებული კაზმები) და სინთეზირებული მასალების მიზნობრივი თერმული დამუშავებით მიღებული პროდუქტების-კომპოზიტების თერმული და რენდგენო-სტრუქტურული ანალიზის მეთოდებით შესწავლა. შესწავლილ მასალათა სპეციფიკიდან გამომდინარე მომდევნო ქვეთავებში წარმოდგენილი იქნება საკვლევ მასალათა მიღების, მათი კვლევისას გამოყენებული ცალკეული ხერხების აღწერა, კვლევის შედეგების ამსახველი ექსპერიმენტის შედეგები და მათი ანალიზი (განსჯა).

2.1. საკვლევ მასალათა მიღებისა და კვლევის მეთოდები

2.1.1. კაზმის შედგენა, მასალათა სინთეზი და კვლევისთვის მომზადება

კვლევის ამოცანებიდან გამომდინარე, რაც მიზნად ისახავდა სპილენძის, მანგანუმის, თუთიისა და ბორის შემცველი და მიზნობრივად გამოსაყენებელი მასალების მიღებას, შესაბამისი ოქსიდების შესაყვანად გამოყენებულ იქნა 3 სახის ოქსიდი: თუთიის, სპილენძის და მანგანუმის ოქსიდები (შესაბამისად ZnO , MnO , CuO), რომელთა სისუფთავე განისაზღვრა მარკებით „ქიმიურად სუფთა“ და „სუფთა ანალიზისთვის“. კიდევ ერთი ელემენტის - ბორის შესაყვანად გამოყენებულ იქნა ბორის მჟავა (მარკა „ტექნიკური“), რომლის დაშლის შედეგად წარმოიქმნებოდა და ხდებოდა საკვლევ შედგენილობებში B_2O_3 -ის შეყვანა. კაზმის ყველა ინგრედიენტი საკონტროლო გაცრის შემდეგ საცერში ბადით $N0,5$ აიწონებოდა ლაბორატორიულ სასწორზე $\pm 0,01$ გ. სიზუსტით. თვით კაზმები მზადდებოდა აწონილი ნედლეულის ფაიფურის ფილში მოთავსებით, ჯერ ფითხით (შპატელი) მორევით, ხოლო საბოლოოდ ფილთაქვით 4-5 წუთი კაზმის ერთგვაროვან (ვიზუალურად) ნარევაძღე მიყვანით [63,34].

კაზმების თერმული დამუშავება განხორციელდა $1200^{\circ}C$ -მდე ტემპერატურაზე, რაც სხვადასხვა ტიპის ღუმელში ჩატარდა. კერძოდ, $850^{\circ}C$ -მდე თერმული დამუშავება განხორციელდა მუფელის ტიპის ლაბორატორიულ ღუმელში, ხოლო $900-1200^{\circ}C$ ინტერვალში კაზმების დამუშავებისას სილიტის გამახურებლიანი ელექტროღუმელით. ორივე ტიპის ღუმელი აღჭურვილი იყო ტემპერატურის მარეგულირებელი მოწყობილობით. ღუმელში მასალათა სინთეზი განხორციელდა სხვადასხვა ზომის მოუჭიკურებელ ფაიფურის ქოთნებში (ტევადობა 40-80 მლ.) [64,65].



ნახაზი 1. საკვლევი მასალების მოცულობისა და კვლევისთვის მომზადების ოპერაციათა თანმიმდევრობა

სინთეზის შედეგად მიღებული მასალების ფიზიკური მდგომარეობის შეფასება ხდებოდა ვიზუალურად ოთხჯერადი გადიდების ლუპის გამოყენებით. სხვადასხვა ტემპერატურაზე სინთეზირებული მასალები

შემდგომი კვლევის ჩასატარებლად იყოფოდა ფრაქციებად და ამისთვის მათი მიზნობრივი მსხვრევა ხდებოდა ფოლადის ფილში, ხოლო შემდგომი დაქუცმაცება წარიმართა ფაიფურის ფილში. მიღებულ, დაქუცმაცებულ მასალას უტარდებოდა საცრითი ანალიზი და მიიღებოდა 0,1-5 მმ. ზომის მარცვლების შემცველი 4 ძირითადი და 2 „ფუჭი“ (ნაკლები 0,1-ზე და მეტი 5 მმ-ზე) ფრაქციულობის მარცვლები. ამისათვის გამოიყენებოდა საცრები ბადის N-ით: 5; 3; 2; 1; 0,5 და 0,1 [65,67,68]. კაზმის მომზადების, მისგან საკვლევი მასალების და საკვლევი ნიმუშების მომზადების სქემა მოყვანილია პირველ ნახაზზე და მის შედგენისას გამოყენებულ იქნა სპეციალურ ლიტერატურაში არსებული მიდგომები [69,70].

2.1.2. მიღებული მასალების ფიზიკური და ტექნოლოგიური თვისებების დადგენა

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

1. მასალათა სიმკვრივე (კუთრი წონა).
2. მასალათა ნაყარი სიმკვრივე
3. მასალათა კრისტალიზაციისადმი მიდრეკილება
4. მასალათა სატესტო ქიმიურ რეაგენტებში ხსნადობა
5. ხსნადობის ექსტრაქტების სპექტრული კვლევა

მიყვანილი მეთოდებითა და რეკომენდაციებით ჩატარებული მიზნობრივი კონკრეტული კვლევის მეთოდოლოგია მოყვანილი იქნება ექსპერიმენტისა და მისი შედეგების აღწერისას.

ზოგადად გამოყენებული კვლევის მეთოდები, რომლებსაც დავეყრდნით მათი ჩატარებისას მიყვანილი და აღწერილია:

- სიმკვრივის განსაზღვრა ჰიდროსტატიკური მეთოდით [65,74-75].

- მასალათა ფხვნილოვანი ფრაქციების ნაყარი (მოცულობითი) სიმკვრივე [71-72].
- მასალათა კრისტალიზაციისადმი მიდრეკილების შესწავლა [73-76].
- მასალათა ქიმიური მდგრადობა და სატესტო ლიმონმჟავასა და ნატრიუმის ტუტის შესაბამისი კონცენტრაციის ხსნარების მომზადება [65,76-79].
 ხსნარების ექსტრაქციის სპექტრული კვლევა განხორციელდა λ -2 სპექტრომეტრით ხოლო სპექტრების ანალიზისას ძირითადად ვეყრდნობოდით სამეცნიერო ლიტერატურაში მოყვანილ მონაცემებს [65,80-84].

2.1.3. საკვლევი მასალების თერმული და რენდგენოფაზური ანალიზი

ჩატარებული კვლევების სხვადასხვა საფეხურზე საჭიროდ იქნა მიჩნეული საკვლევი მასალების კაზმებში მიმდინარე გარდაქმნების შესწავლა-ანალიზი. ასევე, მიღებული მასალების კრისტალიზაციის ტემპერატურული ველის დადგენა, რაც განხორციელდა კაზმების და გარკვეული შედგენილობის მინების მიმართებაში:

- მათი დიფერენციალურ თერმული ანალიზი ჩატარდა ცნობილი მეთოდით და პაულიკ-პაულის-ერდელის სისტემის დერივატოგრაფის გამოყენებით. საკვლევი სინჯების წონა 3,0 მგ არ აღემატებოდა, ხოლო გაზომვის ტემპერატურული ინტერვალი წარმოდგენილი იყო 20-1000°C, როდესაც ტემპერატურის ზრდის სიჩქარე შეადგენდა 10°C წუთში. მიღებული დერივატოგრაფული მრუდების შეფასებისას გამოყენებულ იქნა მეთოდური რეკომენდაციები და საცნობარო მონაცემები, რომლებიც ასახულია [85-87]-ში.
- რენდგენოფაზური ანალიზი გამოყენებულ იქნა მიღებულ მასალათა (შეცხოვნილი კაზმების და მინისაგან მიღებული კომპოზიტების) კრისტალიზაციის პროდუქტების იდენტიფიკაციისა და კაზმების თერმული

დამუშავების მიმდინარე გარდაქმნებისა და წარმოქმნილი შუალედური პროდუქტების რაობის დასადგენად - იდენტიფიკაციის ჩასატარებლად.

კვლევისთვის მომზადებული ნიმუშების შესწავლა მოხდა DPOH-3 ტიპის დიფრაქტომეტრზე. ანოდს წარმოადგენდა სპილენძი, ხოლო მონოქრომატორს - გრაფიტი. მრიცხველის მოძრაობის სიჩქარე შეადგენდა 3 ბრუნნი/წთ. კრისტალური ფაზების მაჩვენებლების დადგენა (სიბრტყე-თაშორისი მანძილი $d\alpha, \text{\AA}$) დადგენა განხორციელდა $d\alpha$ -სა და კრისტალიდან რენდგენის არეკვლის კუთხის (Q°) შესატყვისების შესაბამისი ცხრილებიდან, ხოლო კრისტალური ფაზების იდენტიფიკაციისათვის გამოყენებულ იქნა შესაბამისი საცნობარო მონაცემები [88-94].

2.2. ექსპერიმენტული კვლევის ჩატარების წინაპირობები და განხორციელების გზები

კვლევის ამოცანებიდან გამომდინარე დაიგეგმა ექსპერიმენტი, რომელიც ითვალისწინებდა ოთხი მიკროელემენტის, კერძოდ: Zn, Mn, Cu და B-ის შემცველი კომპლექსური და ამავე დროს პროლონგური ქმედების მიკროსასუქების მიღებას. ლიტერატურის წყაროებიდან ჩვენთვის ცნობილი იყო არაერთი სახეობის მიკროსასუქი და მათ შორის პროლონგური ქმედებით გამორჩეული ფრიტები-მინისებრი მასალები. დღეისათვის ცნობილი ფრიტები მიიღება მინის ლეწის და მიკროელემენტშემცველი არაორგანული ბუნების მარილების ურთიერთშეღობით და ნალღობის შემდგომი ფრიტირებით მშრალი ან სველი ხერხით ანუ მიიღება გრკვეული ზომის მარცვლები, რომლებიც უშუალოდ შეიტანება ნიადაგში და მრავალი წლის განმავლობაში უზრუნველყოფს მცენარეთა ფესვთა კვებას. აღნიშნული ფრიტების უარყოფით მხარედ შეიძლება ჩაითვალოს ის გარემოება, რომ ძირითადი საწყისი ტექნოგენური ნედლეული- მინის ლეწი გამოირჩევა მაღალი ქიმიური მედეგობით აქედან ისინი ვერ უზრუნველ-

ყოფენ თუნდაც ფრიტებისათვის დამახასიათებელი განვითარებული ზედაპირის პირობებში, მცენარეთა ეფექტურ კვებას შეტანიდან 1-2 წლის განმავლობაში [69,95-96] .

პროლონგური ქმედების მიკროსასუქების მიღების კიდევ ერთი გზაც არსებობს-მიკროელემენტშემცველი არაორგანული და ორგანული ნაერთების კაფსულირება, ე.ი. ძირითადი ორგანული ნაერთის აფსკში მიკროელემენტშემცველი ნაერთის გარკვეული ულუფის განთავსება. ასეთი კაფსულირებული მარილებიდან აფსკის ფოროვანი სტრუქტურისა და მაღალი წყალმდეგობის გამო, ძირითადი ნივთიერება ნიადაგში „გადაედინება“ არა მყისიერად არამედ თანდათანობით, რამოდენიმე თვის განმავლობაში.

მიკროელემენტშემცველი კაფსულები ეფექტურობით სჯობნის სხვა სახის მასალებს, მაგრამ მათ ის ნაკლი ახასიათებთ, რომ მათი მიღება ჩვეულებრივ სასუქებთან შედარებით უფრო ძვირი ჯდება და ამავე დროს კომპლექსური პოლიმიკროსასუქები ამ გზით არ იწარმოება [97-100].

კიდევ ერთხელ თუ დავუბრუნდებით ჩვენი სამუშაოს მიზანს -ოთხი (Zn, Mn, Cu და B) მიკროელემენტის, ე.ი. თავისი შედგენილობით პოლიმიკროსასუქის შექმნის იდეას, მიღებული იქნა გადაწყვეტილება ჩაგვეტარებინა სამუშაო ისეთი მასალების მიღებასთან მიმართებაში, რომლებიც რამოდენიმე (მინიმუმ სამი) მიკროელემენტშემცველი და ამავე დროს პროლონგური ქმედების მიკროსასუქების მიღებას უზრუნველყოფდა. ასეთ შესაძლებლობას ქმნიდა შესაბამისი შედგენილობის მინების სინთეზი, ხოლო იმის გათვალისწინებით, რომ მინა (როგორც მეტასტაბილური მასალა) შეიძლება გადაყვანილი იქნას მონოკრისტალურ მასალაში. ორი განსხვავებული ბუნების მასალის (მინა და მინაკრისტალი, ანუ კომპოზიტი) მიღების შესაძლებლობა იქმნება. აღნიშნულს განსხვავებული თვისებების მატარებელი მიკროელემენტშემცველი მასალების მიღების საშუალება უნდა მოეცა. მოსალოდნელი თვისობრივი სხვაობა ახალი სახეობის მასალათა ქიმიურ ხსნადობაშიც უნდა გამოვლენილიყო [69,70,74].

აქედან გამომდინარე, მიზნობრივად ჩატარებული კვლევის მიზანს წარმოადგენდა:

- ე.წ. მიკროელემენტების შემცველი მინების მიღება და მათი მახასიათებელი თვისებების (მათ შორის სატესტო რეაგენტებში ხსნადობის) დადგენა (პირველი ეტაპი)
- პერსპექტიულობით გამორჩეული მინების მიზნობრივად დაკრისტალება და ამ გზით მინაკრისტალური (კომპოზიტური) მასალის მიღება. (მეორე ეტაპი)
- კომპოზიტური მასალების ფაზური შედგენილობის დადგენა, თვისებების შესწავლა და საწყის მინასთან განსხვავებული თვისებების მატარებელი მიკროელემენტშემცველი მასალების მიღების შესაძლებლობის განსაზღვრა (მესამე ეტაპი).

დაგეგმილ ამოცანათა გადასაწყვეტად, თავდაპირველად მოძიებულ იქნა ოთხი სახეობის მიკროელემენტის (Zn, Mn, Cu და B) შემცველი ნაერთები, რომელთა საფუძველზე მოხდებოდა პირველ ეტაპზე დაგეგმილი მინების სინთეზი. არსებული ლიტერატურის წყაროთა მონაცემების გათვალისწინებით, საკვლევი მინების კაზმის ინგრედიენტებად შერჩეულ იქნა შემდეგი ნაერთები [101-103]:

- თუთიის (II) ოქსიდი (Zn - ის შესატანად)
- სპილენძის(II) ოქსიდი (Cu-ის შესატანად)
- მანგანუმის(II) ოქსიდი (Mn-ის შესატანად)
- ბორის მჟავა (H_3BO_3)- B-ის შესატანად შესაბამისი ოქსიდით, რადგან: $2 H_3BO_3 \longrightarrow B_2O_3 + 3H_2O$

ოთხი (B,Zn,Mn,Cu) მიკროელემენტის შემცველი ოთხი (B_2O_3 , ZnO, CuO,MnO) ოქსიდის მონაწილეობით შესაძლებელი იყო ოთხი სამკომპონენტური კომპოზიციური სისტემების შედგენა:

- სისტემა (I): ZnO-MnO-CuO
- სისტემა (II): B_2O_3 -ZnO-CuO
- სისტემა (III): B_2O_3 -ZnO-MnO

- სისტემა (IV): $B_2O_3-CuO-MnO$

მოყვანილი ოთხი სამკომპონენტური სისტემიდან ჩვენთვის სასურველი და მისაღები კვლევის ობიექტის/ობიექტების გამოსავლენად საჭირო გახდა მათში მინის წარმოქმნის უნარის შეფასება, რაც განხორციელდა მინის თეორიაში არსებულ შეხედულებათა საფუძველზე და ლიტერატურის წყაროებიდან ცნობილი მონაცემების გათვალისწინებით.

კარგადაა ცნობილი, რომ მინის მიღების ძირითადი წინაპირობა უკავშირდება პირველ რიგში მინის წარმოქმნის არსებობას. ამ მხრივ, ცნობილია სამი ძირითადი („კლასიკური“) მინის წარმოქმნელი: SiO_2 , B_2O_3 და P_2O_5 . ისინი შესაბამისად განსაზღვრავენ სამი სახეობის ოქსიდური მინების არსებობას: სილიკატური, ბორატული და ფოსფატური. ასეთი მინები ხასიათდებიან მხოლოდ მათთვის დამახასიათებელი თვისებებით და გამოყენების სფეროებით [69,104-106].

ჩვენს მიერ შედგენილ ოთხი სისტემიდან მინის წარმოქმნელ B_2O_3 -ს, შესაბამისად მიკროელემენტ ბორს, არ შეიცავს მხოლოდ სისტემა I. შესაბამისად სისტემა (I): $ZnO-MnO-CuO$ ვერ უზრუნველყოფს მინის მიღებას. ამ მიზეზით აღნიშნულ სისტემასთან მიმართებაში კვლევები არ ჩატარებულა. დანარჩენ სამ სისტემაში მინის წარმოქმნელი B_2O_3 მონაწილეობს, მაგრამ ერთი განმასხვავებელი ნიშნით-სისტემაში (II) არ არის წარმოდგენილი MnO . აქცენტი MnO - ს არ არსებობაზე გაკეთდა იმ მოსაზრებიდან გამომდინარე, რომ მაღალ ტემპერატურაზე MnO გადადის Mn_3O_4 [108-109]: $3 MnO + 1/2 O_2 \xrightarrow{940C} Mn_3O_4$

თავის მხრივ Mn_3O_4 წარმოადგენს შპინელისებრ ნაერთს $2MnO \cdot MnO_2$ ე.ი მაში წარმოდგენილია $2Mn^{2+}$ და $1Mn^{4+}$ მანგანუმის იონები [110]. აღნიშნულზე აქცენტის გაკეთება გამოწვეულია ცნობილი და არაერთი ექსპერიმენტით მოპოვებული მტკიცებულებით, რომ Mn^{4+} - ს შეუძლია $[Mn^{4+}O]^{4+}$ დაჯგუფების სახით მონაწილეობა მიიღოს მინის სტრუქტურული (სივრცობრივი) კარკასის წარმოქმნაში მათ შორის $[B^{3+}O_2]^{3-}$ სამკუთხებთან თანაობისას მანგანუმის იონების განსხვავებული ბუნება, Zn^{2+} და $Cu^{2+}(Cu^+)$

იონებთან შედარებით ნათლად იკვეთება მე-3 ცხრილში წარმოდგენილი მონაცემების საფუძველზე. აღნიშნულ ცხრილში მოყვანილია სამი d-ელემენტის (Zn,Mn,Cu) და B-ის (მინისწარმოქმნელი) მინის სტრუქტურაში შესაძლო ფუნქციური მდგომარეობის თაობაზე. ცხრილში მოყვანილი მონაცემები აღებულია ცნობილი ლიტერატული წყაროებიდან სტუში შესრულებული კვლევების საფუძველზე [69,74,102-104, 207] .

ცხრილი 3. მინის წარმოქმნაში ბორის და რიგი d- ელემენტთა ფუნქციის შეფასება სანის (B_{R-O}) და როუსონის (B_{R-O}/T_{დ5}) კრიტერიუმებით

იონი	მინაში იონის შესაძლო კოორდინაცია	ფუნქცია B _{R-O} (კვ/მოლ) კრიტერიუმის მიხედვით			ფუნქცია B _{R-O} /T _{დ5} (კვ/მოლ) კრიტერიუმის მიხედვით		
		მინის წარმოქმნელი	შუალედური	მოდიფიკატორი	მინის წარმოქმნელი	შუალედური	მოდიფიკატორი
B ³⁺	3	496	-	-	0.82		
	4	-	-	-	0.61		
Zn ²⁺	4	-	300	-	-	-	0.09
	6	-	-	142	-	-	0.06
	8	-	-	100	-	-	0.05
Cu ²⁺	4	-	-	218	-	0.17	-
	6	-	-	147			
Mn ²⁺	4	-	-	229	X	X	X
	6	-	-	157	X	X	X
Mn ⁴⁺	4	330	-	-	X	X	X
	6	-	218	-	X	X	X

შენიშვნა: (x)-არ გაითვლება შესაბამისი ოქსიდის მაღალტემპერატურული გარდაქმნის გამო

ცხრილში მოყვანილი მონაცემების თანახმად, ნათლად იკვეთება მინის სტრუქტურის ჩამოყალიბებაში B³⁺ -იონის და Mn⁴⁺ -იონის როლი , რადგან B³⁺ ორივე შესაძლო კოორდინაციული (3 და 4) მდგომარეობაში,

ხოლო Mn^{4+} -იონი ოთხკოორდინებულ მდგომარეობაში მინის წარმოქმნის (სტრუქტურული როცხოვრივი ბადის) შესაძლებლობას განსაზღვრავს. ორვალენტური სამივე d-ელემენტი (Zn^{2+} , Cu^{2+} და Mn^{2+}), ორივე კრიტერიუმის მნიშვნელობათა შეფასებით, ნებისმიერი ნებისმიერი კოორდინაციული მდგომარეობის მიუხედავად, ავლენენ მოდიფიკატორის ფუნქციას. იონი, რომელიც მოდიფიკატორის როლშია წარმოდგენილი არღვევს სივრცობრივ სტრუქტურულ ბადეს და ამიტომ ვერ იქნება მინის წარმოქმნის ხელშემწყობი. ვინაიდან სისტემა II ($B_2O_3-ZnO-CuO$), ბორის ანჰიდრიდის გარდა შეიცავს ოქსიდ-მოდიფიკატორებს-მინის წარმოქმნის შესაძლებლობა მასში ძალზე მცირე ხდება. აქედან გამომდინარე ეს სისტემა ჩვენს მიერ ჩათვლილ იქნა არაპერსპექტიულად და მისი კვლევა არ ჩატარებულა.

დანარჩენი ორი სისტემა (III და IV), უკვე მოყვანილო მოსაზრების გამო, ჩვენს მიერ ჩასატარებელი კვლევის მიზნების რეალიზაციისათვის, პერსპექტიულად იქნა მიჩნეული, დამატებით არგუმენტად შეიძლება მოვიყვანოთ უკვე ჩატარებული სამუშაოები, რომლებშიც განიხილება $B_2O_3-ZnO-MnO$ და $B_2O_3-CuO-MnO$ სისტემის შესწავლის შედეგები. კერძოდ, მათში მინის წარმოქმნის სისტემური კვლევა მოყვანილია [101,103,111] ლიტერატურის წყაროში. აღსანიშნავია, რომ ორივე სისტემაში მიღებული მინების თვისებები შესწავლილი იქნა მიზნობრივად, როგორც ელექტროტექნიკური დანიშნულების მასალებისა : ელექტროთვისებები გაფართოების კოეფიციენტი და მიკროსისალე, მაგრამ არ მოიძებნა მასალა, რომელიც მათ ქიმიურ თვისებებს აღწერდეს [101-103,111-112].

სპეციალური მანგანუმშემცველი მინების მანგანუმშემცველი შეცხოვრილი მასალების ქიმიური თვისებები სხვადასხვა რეაგენტებთან მიმართებაში და ამავე დროს სხვადასხვა პერიოდში შეისწავლებოდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სილიკატების კათედრაზე(მიმართულება). კერძოდ $R_2O-MnO-B_2O_3$ და $R_2O-MnO-SiO_2$ ($R_2O=Li_2O$ და Na_2O) მინების ქიმიური მდგომარეობა და ამ თვისებებს მინების შედგენილობაზე დამოკიდებულება წყალთან და გოგირდმჟავასთან მიმართებაში დეტალურადაა

განხილული რამოდენიმე სტატიაში. მანგანუმშემცველი შლამების, ასევე მადნების და მათ საფუძველზე მიღებული არაერთი სახეობის მასალის ხსნადობა სხვადასხვა რეაგენტებში განხორციელდა მრავალ ნაშრომში. კერძოდ მანგანუმშემცველი შლამებთან მიმართებაში შესწავლილ იქნა მათი და სხვადასხვა მჟავას წყალხსნარების ურთიერთობის საკითხები მანგანუმშემცველი შლამების და ოქსიდების საფუძველზე შედგენილი და სინთეზით მიღებული მასალების შესწავლისას გამოიკვეთა ერთი მნიშვნელოვანი თავისებურება - მანგანუმშემცველი მასალების ხსნადობის შეფასება შეიძლება არა მარტო წონის დანაკლისების განსაზღვრით, არამედ მანგანუმშემცველ მასალათა-ლიმონმჟავას წყალხსნარით ურთიერთობისას წარმოქმნილი ექსტრაქტების სპექტრული მეთოდებით შესწავლითაც. ამ მხრივ ჩატარდა როგორც რთული ქიმიური შედგენილობის მანგანუმშემცველი მარილების, ასევე მანგანუმის „სუფთა“ ოქსიდების და ლიმონმჟავას ურთიერთქმედების შედეგად წარმოქმნილი სატესტო ხსნარების შესწავლა. მიღებულმა შედეგებმა დაადასტურა ლიმონმჟავას წყალხსნარის სატესტო რეაგენტად გამოყენება მანგანუმშემცველი მასალებთან მიმართებაში [113-127].

ჩვენს მიერ შესასწავლად აღებული ობიექტი ითვალისწინებდა ოთხი მიკროელემენტის შემცველ და ამავე დროს პროლონგური ქმედების მასალების - მიკროსასუქების მიღებას, რომლი განსახორციელებლად შერჩეულ იქნა ორი სისტემა: $B_2O_3-ZnO-MnO$ და $B_2O_3-CuO-MnO$. კვლევის ამოცანას წარმოადგენდა აღნიშნულ სისტემაში მინების სინთეზი და ისეთი მინამასალების მიღება, რომლებიც გამოირჩევა პროლონგური მიკროსასუქებისათვის დამახასიათებელი თვისებებით. აღნიშნულ მტკიცებულებათა მოპოვებისათვის მიზანშეწონილად იქნა მიჩნეული ახალი სახის მასალების ტესტირება ორ განსხვავებულ რეაგენტთან მიმართებაში (ლიმონმჟავას და $NaOH$ წყალხსნარებში). მიღებულ მასალათა მიზნობრივად გამოყენების შესაძლებლობათა დასადგენად საჭირო ხდება სხვადასხვა ქიმიური და ფაზური შედგენილობის და ბუნების მასალების სატესტო რეაგენტებში

ხსნადობის კინეტიკის დადგენას და ამ გზით მათი პროლონგური ქმედების მიკროსასუქებად გამოყენების პერსპექტიულობის დადგენა.

2.3. საკვლევი მინების შერჩევა და მათი კაზიმების შედგენილობის გათვლა

როგორც თავი 2.2-ში ჩატარებულმა ანალიზმა გვიჩვენა, მინის წარმოქმნა მოსალოდნელია ჩვენთვის საინტერესო $B_2O_3-ZnO-MnO$ და $B_2O_3-CuO-MnO$ სისტემებში. აღნიშნულ სისტემებთან მიმართებაში ჩვენთვის ცნობილი იყო მათში მინისწარმოქმნის შესწავლის შედეგები, რომლებიც სხვადასხვა მკვლევარების მიერ განსხვავებულია. კერძოდ მინის წარმოქმნის უბანი $B_2O_3-ZnO-MnO$ კუზნეცოვას და სარუხანაშვილი-ქუთათელაძის ნაშრომებში გარკვეულ მსგავსებას იჩენენ, რომლის დასტური საცნობარო ლიტერატურის მონაცემებში გვხვდება. ორივე შემთხვევაში მინის წარმოქმნის უბანი განლაგდება $\% B_2O_3 = 50$ მოლ% . და $\% B_2O_3 = 40$ მოლ% საკონცენტრაციო წრფეებს შორის. აღსანიშნავია, რომ ორივე ნაშრომი საწყის სანედლეულო მასალად გამოყენებული იქნა : თუთიის თეთრა (ZnO), $MnCO_3$ და ბორის მჟავა, მაგრამ განმასხვავებელი ნიშანი იყო სინთეზის პირობები: კუზნეცოვა მინის სინთეზს ატარებდა ალისებურ ლაბორატორიულ დანადგარში, ხოლო ქართველი მკვლევარები ელექტროგამახურებლიან ლაბორატორიულ ღუმელში. გარდა აღნიშნულისა, ერთ შემთხვევაში მინის მოსახარმად გამოიყენებოდა კვარცის, ხოლო მეორე შემთხვევაში ფაიფურის მოუჭიქურებული ქოთნები [101, 111-112].

რაც შეეხება იგივე სისტემას, მაგრამ MnO -ს შესაყვანად „ქიმიურად სუფთა“ MnO -ს გამოყენებით ჩატარებული მინების სინთეზის შედეგებს-ის მოყვანილია [102]-ში. კვლევის შედეგების მიხედვით $B_2O_3-ZnO-MnO$ სისტემაში მინის წარმოქმნის უბანი ძირითადად წარმოდგენილია შედგენილობებით, რომლებიც გამოირჩევიან სტაბილური მინის წარმოქმნით $B_2O_3=50$ მოლ.% ჭრილში ამ შემთხვევაში $ZnO \rightleftharpoons MnO$

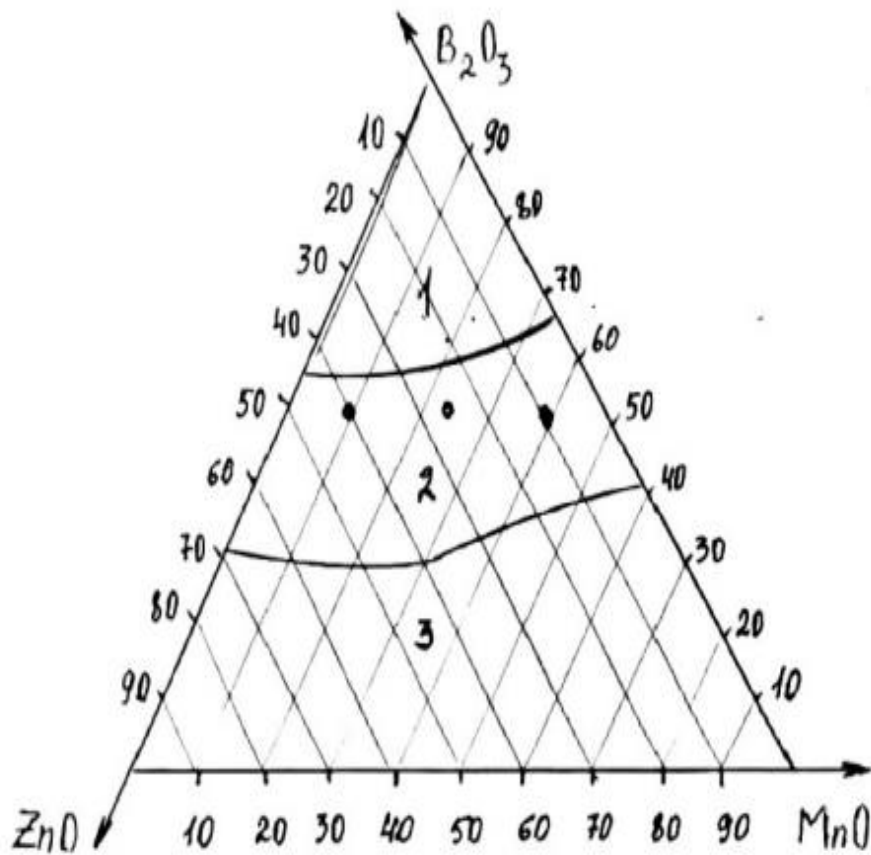
ჩანაცვლება შესაძლებელია 0-დან 50 მოლ. %-მდე, ე.ი $50 \text{ B}_2\text{O}_3 \cdot 50 \text{ ZnO}$ და $50 \text{ B}_2\text{O}_3 \cdot 50 \text{ MnO}$ უწყვეტ შედგენილობათა მწკრივში.

მონაცემები $\text{CuO-MnO-B}_2\text{O}_3$ სისტემაში მინის წარმოქმნის თაობაზე მოყვანილია მხოლოდ [102]-ში და შეიძლება ითქვას, რომ $\text{ZnO-MnO-B}_2\text{O}_3$ და $\text{CuO-MnO-B}_2\text{O}_3$ სისტემებში მინის წარმოქმნასთან მიმართებაში შეიმჩნევა გარკვეული მსგავსება. ორივე საკვლევად შერჩეულ სამკომპონენტიან სისტემაში მინის წარმოქმნის თაობაზე არსებული და შეჯერებული მონაცემები წარმოდგენილია მე-2 და მე-3 ნახაზებში.

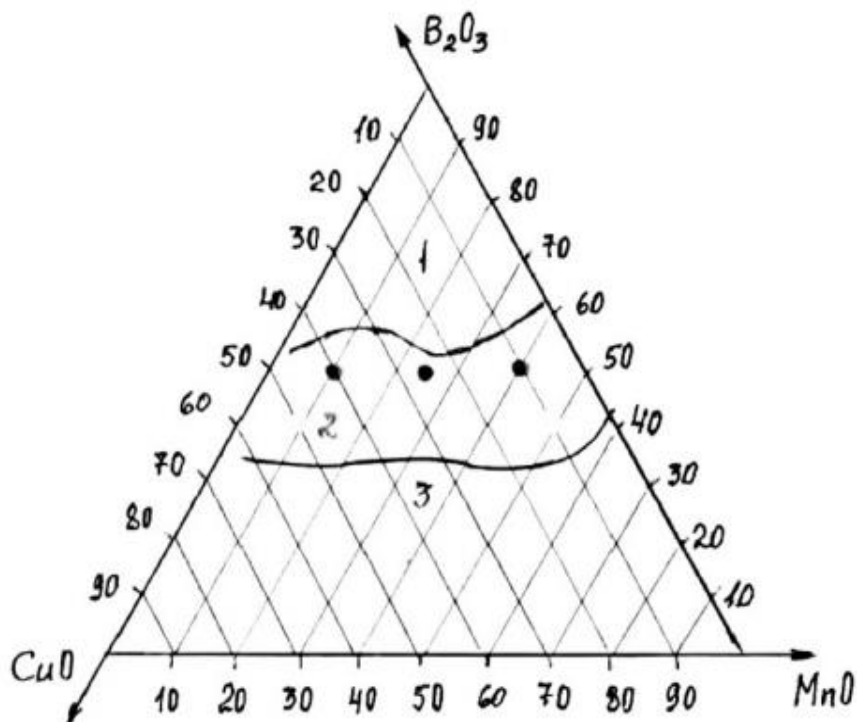
ორივე სისტემის მინის წარმოქმნის უბნების (უბანი 2) შეფასებით შეიძლება ითქვას, რომ ორივე სამკომპონენტიანი სისტემისთვის დამახასიათებელია მინის წარმოქმნა $\text{MnO-B}_2\text{O}_3$ და $\text{CuO (ZnO)-B}_2\text{O}_3$ ორკომპონენტიანი სისტემების მინის წარმოქმნელ შემადგენელ ზოლში (უბანში). ორი პოლივალენტური ელემენტის (გვერდი CuO-MnO და ZnO-MnO) ანუ ორი d ელემენტის (ZnO- ვალენტურსტაბილურია, ხოლო MnO- პოლივალენტური ელემენტის შემცველი ოქსიდია) შემდეგ გვერდთან განლაგდება კრისტალუბადი ნადნობის უბანი (უბანი 3), ამავე დროს მე-2 უბნის ზემოთ B_2O_3 წვეროსკენ დაფიქსირდა განფენადი (ორშრიანი: შავი და თეთრი მინების „სენდვიჩი“) მინების უბანი. საკვლევად ჩვენს მიერ შერჩეულ იქნა მსგავსი შედგენილობის მინები, რომელიც ორივე სისტემაში განლაგდება 50 მოლ. %-ზე B_2O_3 -ის შემცველ ჭრილს. ზემოთ საკვლევად შერჩეული თითოეული სისტემის სტაბილური მინის წარმოქმნის 50მოლ. % B_2O_3 -ით აღნიშნულ ჭრილში შესასწავლად აღებულ იქნა სამ-სამი შედგენილობა, რომლებზეც განლაგდება 50 მოლ. % B_2O_3 , 10, 25 და 40 მოლ. % MnO (ორივე სისტემისთვის) და შესაბამისად 40, 15 ან 10 მოლ. % ZnO (სერია ZMB) ან 40, 25 და 10 მოლ. % CuO (სერია CMB).

მოყვანილ სისტემებში შემავალი ოქსიდების შესაყვანად (როგორც აღინიშნა თავი 2.1-ში) გამოყენებული იქნა თუთიის, სპილენძის და მანგანუმის ოქსიდები („ქიმიურად სუფთა“ და „სუფთა ანალიზისათვის“ კლასიფიკაციის), ხოლო B_2O_3 შეიყვანებოდა ბორის მჟავით (მარკა

„ტექნიკური“). თუთიის , სპილენძის და მანგანუმის ოქსიდებში ძირითადი ნივთიერების (შესაბამისი ოქსიდები: MnO , ZnO , CuO) შემცველობა აღემატებოდა 99,0 მას%-ს ხოლო ბორის მჟავაში H_3BO_3 -ი შემცველობა შეადგენდა 98 მას.%-ს. ცალკეულ მასალებში ძირითადი ნივთიერების შემცველობა ჩვენს მიერ გათვალისწინებულ იქნა კაზმის შედგენისას.



ნახაზი 2. მინის წარმოქმნა ZnO - MnO - B_2O_3 სისტემაში (განმარტება იხილე ტექსტში)



ნახაზი 3. მინის წარმოქმნა CuO-MnO- B₂O₃ სისტემაში (განმარტება იხ.ტექსტში)

საკვლევი შედგენილობებისათვის (სერია ZMB და სერია CMB) კაზმის შესადგენად საჭირო გახდა ორივე სისტემის სამ-სამი მინის შედგენილობის მოლ.%-დან გადაყვანა მას.%-ში და შემდეგ, ნედლეულში ძირითადი შემადგენლის შემცველობიდან გამომდინარე, კაზმის შედგენილობის გათვლა.

მოლ.%-ში წარმოდგენილი საკვლევ შედგენილობათა წონის %-ში გადაყვანა განხორციელდა შესაბამისი შედგენილობის გადათვლით და ამისათვის გამოვიყენეთ ლიტერატურაში მოყვანილი რეკომენდაციები. შესაბამისად შედგენილობათა მოლ.%-ზე გადასვლისათვის გამოყენებულ

იქნა ფორმულა:
$$P_i = \frac{N_i \cdot M_i \cdot 100}{\sum N_i \cdot M_i}$$

სადაც, P_i = შესაბამისი ოქსიდის შემცველობა, მას.%;

N_i = შესაბამისი ოქსიდის შემცველობა მოლ.%;

M_i = შესაბამისი ოქსიდის მოლეკულური წონა.

ორივე სისტემის ექვსივე შედგენილობის (ორი სისტემა და სამ-სამი შედგენილობა) გადათვლის შედეგები წარმოდგენილია მე-4 ცხრილში [65,124].

ცხრილი 4. ორივე სისტემის საკვლევ შედგენილობათა მოლ.% -დან წონ.%-ში გადათვლის შედეგები

სერია	შედგენილობის ინდექსი	ოქსიდების შემცველობა საკვლევ შედგენილობებში					
		მოლ.%			მას.%		
		RO	Mn O	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

როგორც აღნიშნა ZnO-ს, CuO-ს და MnO-ს მინაში შესაყვანად შერჩეულ იქნა შესაბამისი ოქსიდები (რეაქტივები), რომლებშიც ძირითადი ნივთიერების შემცველობა 99%-ზე მეტს შეადგენდა (რეაქტივები მასალით „ქიმიურად სუფთა), ხოლო, B₂O₃-ის შესატანად აღებულ იქნა „ტექნიკური“ მასალის ბორის მჟავა, რომელშიც ძირითადი ნივთიერების შემცველობა 98%-ს (98% H₃BO₃) აღნიშნული პირობებიდან გამომდინარე, შედგენილი იქნა 6 კაზმი, რომელთა შედგენილობა (100 წნ. მინის მისაღებად) მოყვანილია მე-5 ცხრილში.

ცხრილი 5. ZMB და CMB სერიის საკვლევ შემადგენლობათა კაზმები

შედგენილობის ინდექსი	კაზმის მასალების რაოდენობა (წ.წ) 100წ.წ. მინის მისაღებად				კაზმის მასა (წონა) 100 მას% (წ.წ). 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

2.4. საკვლევ შემადგენლობათა კაზმებში მიმდინარე პროცესების შეფასება და კვლევა

ორივე საკვლევ თუთიის და სპილენძის ოქსიდების შემცველ მანგანუმბორატულ კომპოზიციაში, ლიტერატურულ წყაროებზე დაყრდნობით შეფასდა საწყისი კაზმის კომპონენტების შესაძლო გარდაქმნები, რაც მე-6 ცხრილის სახითაა წარმოდგენილი [46,47,102-104,109].

ცხრილი 6. $ZnO - MnO - B_2O_3$ და $CuO - MnO - B_2O_3$ სისტემების საკვლევი შედგენილობების კაზმებში მოსალოდნელი მახასიათებელი თერმოფექტები

№	კაზმის ან მასალის კომპონენტი	პროცესის ქიმიური ან ფიზიკური არსი	თერმოფექტის ტემპერატ.(K)
1	ორთობორმჟავა (H_3BO_3)	$2H_3BO_3 \rightarrow B_2O_3 + 3H_2O$	350 - 573
2	ორთობორმჟავას დაშლის შუალედური ნაერთები. მეტაბორმჟავას წარმოქმნა (HBO_2)	$H_3BO_3 \rightarrow HBO_2 + H_2O$	440 - 445
2	მეტაბორმჟავას (HBO_2) დაშლა	$2HBO_2 \rightarrow B_2O_3 + H_2O$	➤ 445
3	B_2O_3 (მინისებრი)	დ ნ ო ბ ა	≈ 740
4	B_2O_3 (კრისტალური)	$B_2O_{3(კრ)} \rightarrow B_2O_{3(ამორფ)}$	≈ 873
5	მანგანუმის (II) ოქსიდი (MnO)	$2MnO + O_2 \rightarrow 2MnO_2$ $2MnO_2 \rightarrow Mn_2O_3 + \frac{1}{2}O_2$ $3Mn_2O_3 \rightarrow 2Mn_3O_4 + \frac{1}{2}O_2$	573 - 673 850 - 890 1220 - 1370
6	თუთიის (II) ოქსიდი ZnO	-	-
7	სპილენძის (II) ოქსიდი (CuO)	$2CuO \rightarrow Cu_2O + 1/2O_2$	➤ 1370

აღნიშნული შეფასების დასტური მოითხოვდა თერმული ანალიზის ჩატარებას და მიზნობრივად განხორციელდა პაულიკ , პაულიკ ერდის სისტემის დერივატოგრაფით. სინჯების წონა შეადგენს 100-200 მგ-ს, ტემპერატურის აწევის სიჩქარე $10^{\circ} C/წთ$.

კაზმების ლღობის პროცესში წარმოქმნილი კრისტალური ფაზების (ნაერთების) სახეობათა დასადგენად გამოყენებულ იქნა რენდგენოფაზური ანალიზი და ამისათვის კვლევებში დავეყრდენით DPOH-1.5

შერჩეული შედგენილობის კაზმის თერმოდამუშავებით გამოწვეული გარდაქმნების შესაფასებლად და კაზმის მოსალოდნელი ლღობის

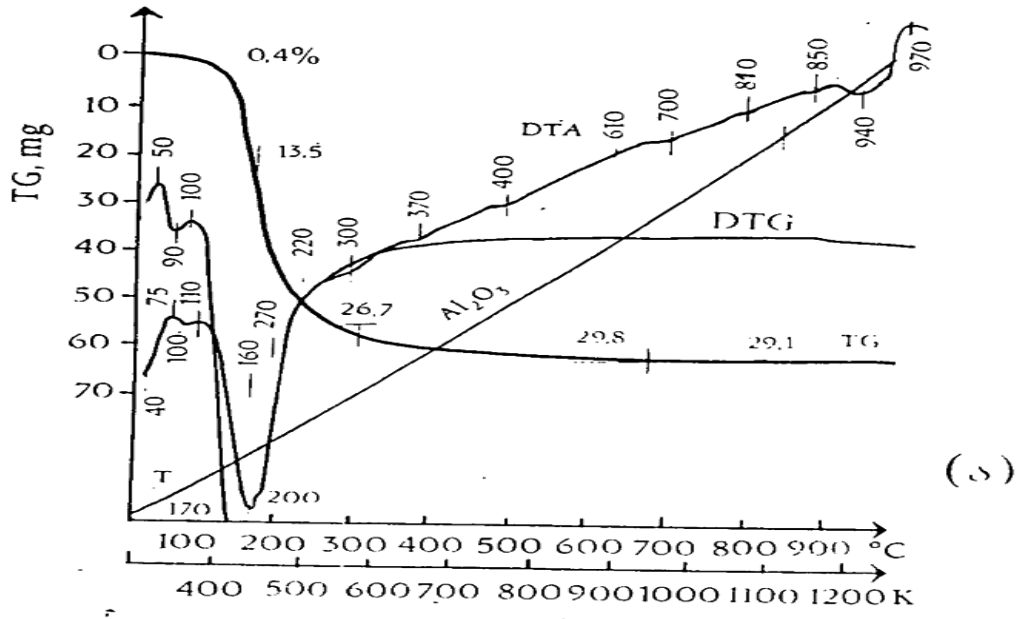
მიახლოებული ტემპერატურის დასადგენად ჩატარდა თერმული ანალიზი, ხოლო შედეგების შეფასება ჩატარდა შესაბამის ლიტერატურულ მონაცემებზე დაყრდნობით [85-87].

ორი სამკომპონენტური $ZnO - MnO - B_2O_3$ და $CuO - MnO - B_2O_3$ სისტემის ორი საკვლევ შედგენილობათა (CMB-1 და ZMB-1) დერივატოგრაფები წარმოდგენილია მე-4 და მე-5 ნახაზზე. შესაბამისი შედგენილობის კაზიმების მატერიალური შედგენილობა მოყვანილია მე-6 ცხრილში. ორივე სისტემის შედგენილობათა (CMB-1 და ZMB-1) მოლური ფორმულა ერთნაირია და შესატყვისობა ოქსიდთა მოლური შემცველობით გამოსახულ ნაერთს: $1RO \cdot 4 MnO \cdot 5B_2O_3$ (RO= CuO, ZnO)

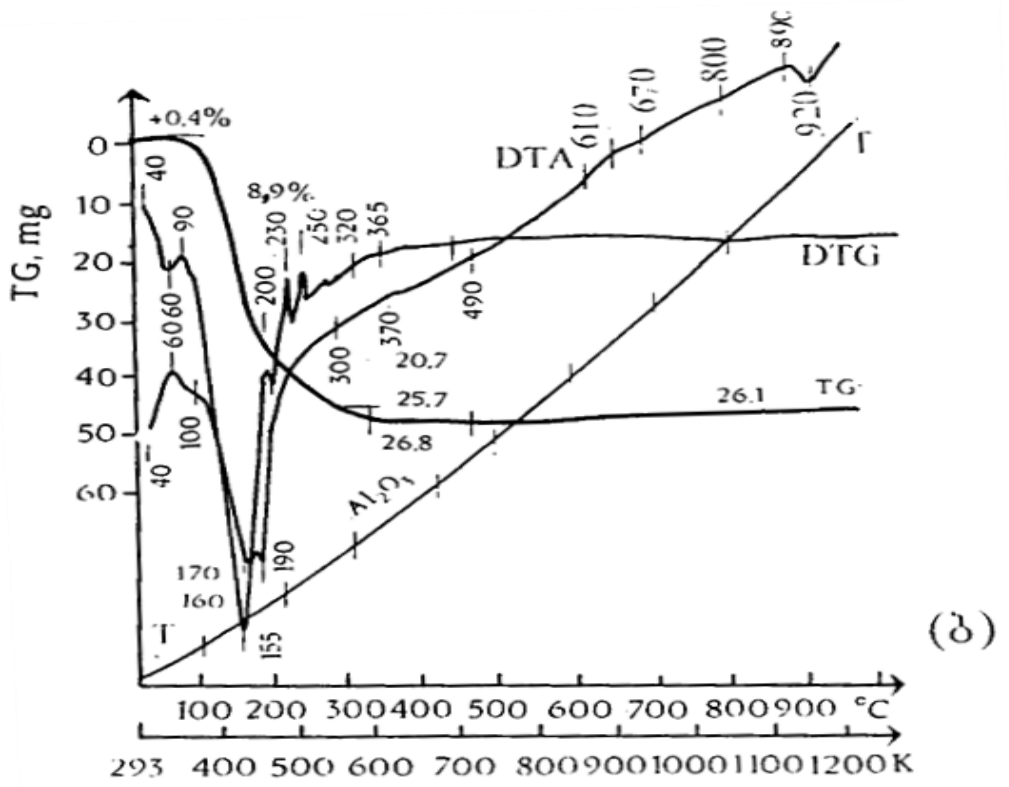
კაზიმების დერივატოგრაფების DTA მრუდის მიხედვით შედეგების ანალიზით დადგინდა, რომ ორივე შედგენილობისათვის დაბალტემპერატურულ უბანში ადგილი აქვს ძლიერი ენდოფექტის წარმოქმნას ($105-220^{\circ}C$), რაც გამოწვეული უნდა იყოს ბორის მჟავას გარდაქმნა-დაშლით, რასაც თან ახლავს TG მრუდზე მკაფიოდ ასახული კაზიმის წონის დანაკარგების მაქსიმუმი, როდესაც $300-400^{\circ}C$ დანაკარგების მცირე კლება შეიმჩნევა. მაღალტემპერატურულ უბანში ორი ენდოფექტი გამოვლინდა: $830-880^{\circ}C$ -ZMB-1 და $940-970^{\circ}C$ -CMB-1 შედგენილობებისთვის, რომელთა არსებობა ფსევდოსამკომპონენტური სისტემაში თერმოდამუშავებით წარმოქმნილ და განსხვავებული შედგენილობის ბორატული ნერთების დნობას უნდა უკავშირდებოდეს. თერმული ანალიზით $300-800^{\circ}C$ ტემპერატურულ ინტერვალში ასევე დაფიქსირდა მრავალი, მაგრამ სუსტი ეგზოთერმული ეფექტი, რაც კაზიმის კომპონენტების ურთიერთქმედების ხარჯზე სხვადასხვა სახის კრისტალური ნერთების წარმოქმნით უნდა იყოს გამოწვეული. კერძოდ, კაზიმის მაღალტემპერატურული $820^{\circ}C$ -ზე ზევით დამუშავება მის რადიკალურ ტრანსფორმაციას იწვევს (ნახ.4 და 5).

თერმულ ეფექტებთან შესატყვის ტემპერატურებზე თერმულად დამუშავებული კაზმების შესწავლა განხორციელდა რენტგენოფაზური ანალიზით, შესაბამისი დიფრაქტოგრამები წარმოდგენილია მე-6 და მე-7 ნახატზე, შესაბამისად, $ZnO-MnO-B_2O_3$ (სერია ZMB) და $CuO-MnO-B_2O_3$ (სერია CMB) შედგენილობის კაზმებისათვის. განხორციელდა თერმული ანალიზითა და რენტგენოფაზური ანალიზით მიღებული შედეგების შეჯერება, რომლის შედეგები წარმოდგენილია მე-6 ცხრილში. უნდა აღინიშნოს, რომ დაბალტემპერატურულ ინტერვალში ($300^{\circ}C$ -მდე) მიმდინარეობს მხოლოდ ბორის მჟავას დაშლა-გარდაქმნა. ტემპერატურათა მომდევნო $300-600^{\circ}C$ შორის მიმდინარეობს MnO -ს ჟანგვა და B_2O_3 -ის ამორფულ მდგომარეობაში გადასვლა. აღნიშნული შეეხება $600^{\circ}C$ -ზე ზემოთ ჩატარებულ კაზმების თერმულ დამუშავებას,

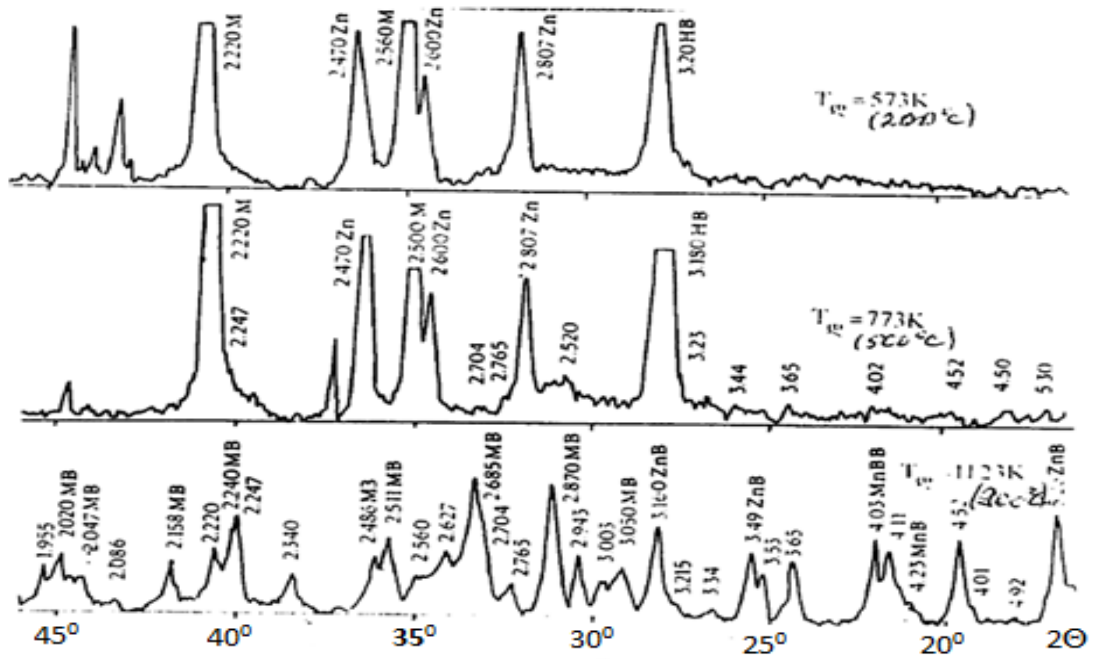
ადგილი აქვს მრავალრიცხოვანი ახალი ნაერთების წარმოქმნას, რომელთა არსებობას განსაზღვრავს პოლივალენტური ელემენტის ოქსიდების და ბორის ანჰიდრიდის ურთიერთშერწყმა. აღნიშნული განაპირობებს სხვადასხვა სახის ბორატების წარმოქმნას. რენტგენოფაზური ანალიზის შედეგების მიხედვით მაღალ ტემპერატურაზე ($900^{\circ}C$ -მდე) ძირითადი კრისტალური ფაზები წარმოდგენილია მანგანუმის (MnO), თუთიის (ZnO) და სპილენძის (CuO) დიბორატებით, მაგრამ არსებობს თანმხლები კრისტალური ფაზები (მაგ., MnB_4O_7 და სხვ.) და როგორც წესი ამორფული შემადგენელი (ამორფული ანუ გამინებული ბორის მჟავა ან ადვილად დნობადი ბორატები).



ნახაზი 4. CMB-1 შედგენილობის კაზმის დერივატოგრამა

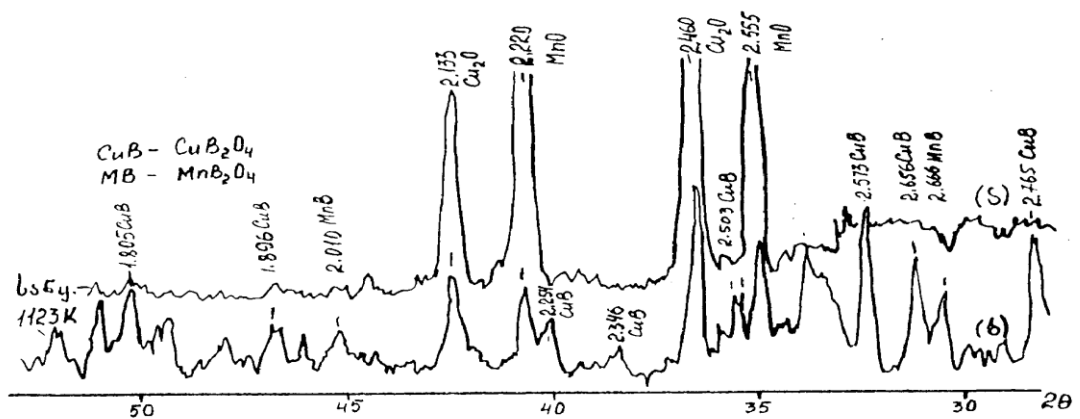


ნახაზი 5. ZMB-1 შედგენილობის კაზმის დერივატოგრამა



ნახაზი 6. სხვადასხვა ტემპურაზე დამუშავებული ZMC შედგენილობათა კაზმის დიფრაქტოგრამები

თერმული ანალიზის შედეგების მიხედვით 900°C (სპილენძმემცველი მინები) და 1000°C-ზე (თუთიაშემცველი მინები) მოსალოდნელია კაზმების დნობა (ცხრილი 7). აღნიშნულზე დაყრდნობით მინების ხარშვის განხორციელება სასურველი იქნებოდა არანაკლებ 1050-1100°C ტემპურაზე.



ნახაზი 7. საწყისი(ა) და 900°C-ზე თერმულად დამუშავებული(ბ) სპილენძმემცველი მანგანუმბორატული კაზმის დიფრაქტოგრამის ფრაგმენტები

ცხრილი 7. ZMB და CMB სერიის კაზმებში მიმდინარე თერმული პროცესები და წარმოქმნილ კრისტალურ ფაზათა იდენტიფიკაცია

№	საკვლევი სისტემა	თერმოფექტების ტემპერატურული ინტერვალი (K)	თერმოფექტის სახეობა ($\pm Q$)	ეტაპის ბოლოს წარმოქმნილი კრისტალური ფაზების ფორმულა
1	ZMB	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 ნადნობი
2	CMB	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 ნადნობი (ამორფული ნივთიერება)

2.5. ZMB და CMB სამკომპონენტო კომპოზიციაში მინების სინთეზი და მათი მახასიათებელი თვისებების დადგენა

2.5.1. მინების სინთეზი

კაზმების თერმოგრამების ანალიზით დადგინდა მათი თერმული დამუშავებისას მრავალრიცხოვანი გარდაქმნების (თერმოფექტებით დადასრურებული) არსებობა და კაზმების სრული დნობის მქონე მინების სინთეზის სავარაუდო ტემპერატურა. აღნიშნულმა საშუალება მოგვცა 6 შედგენილობის მინის სინთეზის ჩატარება უკვე გათვლილი კაზმების შედგენილობიდან გამომდინარე (ცხრილი 5).

ცხრილი 8. ZMB და CMB სერიის მინების სინთეზის პირობები და შედეგები

სისტემა	შედგენი- ლობის ინდექსი	ხარშვის პირობები		შედეგების შეფასება
		ტემპერატ.(°C)	დაყოვნე ბის დრო (სთ)	
ZnO-MnO-B ₂ O ₃	ZMB-1	1100±20	1	შავი ფერის მინა
	ZMB-2	1100±20	1	შავი ფერის მინა
	ZMB-3	1100±20	1	შავი ფერის მინა
CuO-MnO-B ₂ O ₃	CMB-1	1050±20	2/3	მასაში შავი ფერის მინა, რომლის ზედაპირზე წარმოიქმნება თხელი აფსკი (შუქარეკვლის ეფექტით)
	CMB-2	1050±20	2/3	მასაში შავი ფერის მინა, რომლის ზედაპირზე წარმოიქმნება თხელი აფსკი (შუქარეკვლის ეფექტით)
	CMB-3	1050±20	2/3	მასაში შავი ფერის მინა, რომლის ზედაპირზე წარმოიქმნება თხელი აფსკი (შუქარეკვლის ეფექტით)

მინების სინთეზის პირობები და მიღებული შედეგები წარმოდგენილია მე-8 ცხრილში. ყველა შედგენილობის მინის სინთეზი განხორციელდა ელექტროგამახურებლიან კარბორუნდის ღეროებიან ლუმელში, როდესაც მინის სახარშავ ჭურჭლად გამოყენებულ იქნა გამომწვარი მოუჭიკურებელი ფაიფურის ქოთნები, დაახლოებით 120 მლ. ტევადობით. კაზმის ლლობის შედეგად წარმოქმნილი ნაღნობები გადმოსხმებოდა (ხდებოდა ფრიტირება მშრალი ხერხით [95,96]) ლითონის ფილაზე და ჰაერზე გაციების შემდეგ მადგან მზადდებოდა საცდელი ნიმუშები.

ხარშვის შედეგად მიღებული მინებიდან მომზადდა ნიმუშები, რომლებიც შემდგომი კვლევისათვის იქნა გამოყენებული. ნიმუშების საკვლევად მომზადების ზოგადი მიდგომები მოყვანილია თავში 2.1, მაგრამ ჩვენს მიერ დაგეგმილი ამოცანების მიხედვით საჭირო იყო მიღებული მინების რიგი მნიშვნელოვანი, მაგრამ მინის ტექნოლოგიისათვის სრულ შესაბამისობაში არ მყოფი მახასიათებელი თვისებების დადგენა, კერძოდ,

თვისებათა კვლევის თავისებურება მდგომარეობდა იმაში, რომ უნდა განსაზღვრულიყო მიღებული მინების პერსპექტიულობა ისეთ სფეროში როგორცაა - მათი პროლონგური ქმედების მიკროსასუქებად გამოყენება. აქედან გამომდინარე, საჭიროდ იქნა მიჩნეული ნიმუშების მომზადება ისეთი თვისებების დასადგენად როგორცაა:

- მინების (შემდგომ კი მათი იძულებითი დაკრისტალეზით მიღებული მონოკრისტალური მასალების) ხსნადობა ტესტურ რეაგენტებში, რაც საჭიროებდა გარკვეული ფრაქციულობის ფხვნილების მომზადებას;
- კვლევისთვის საჭირო სატესტო რეაგენტების მომზადება;
- მიღებული მასალების სიმკვრივისა და ფხვნილების ნაყარი მოცულობითო მასის დადგენა;
- რეაგენტებში საკვლევი მასალის ხსნადობის დადგენა და სხვა. მიღებული ექვსივე განსხვავებული შედგენილობის მინების კრისტალიზაციისადმი მიდრეკილებისა და სიმკვრივის დასადგენად მიღებული მინები დაქუცმაცდა და განხორციელდა ნატეხების (მარცვლების) დახარისხება ზომისა და ფორმის მიხედვით. სიმკვრივის სიდიდეთა განსაზღვრისათვის გადაირჩა თითოეული შედგენილობის მინის მეტნაკლებად სწორი გეომეტრიული ფორმის მქონე ნატეხები წონით 3-5 გრამი, დასაკრისტალეზად განწესდა 5-8 გრამიანი წონის ნიმუშები, ხოლო დანარჩენი უფრო მცირე მასის მქონე ნიმუშები დაიმსხვრა ფაიფურის როდინში და გაიცრა საცერთა კრებულში.

მინების მიზნობრივი დაკრისტალეზა განხორციელდა მუფელის ტიპის ელექტროლუმელში. მიღებული მინის ნიმუშები იდებოდა მოუჭიკურებელ ფაიფურის ფილაზე და თავსდებოდა ღუმელში. სასურველი ტემპერატურის მიღწევა ხდებოდა ტემპერატურის აწევით $\approx 10^{\circ}\text{C}$ წთ. სიჩქარით, თერმული დამუშავების ტემპერატურაზე მინის ნიმუშების დაყოვნება ერთსაათიანი იყო. თერმულად დამუშავებული ნიმუშების გამოიღებოდა (ფილასთან ერთად) ღუმელიდან და ცივდებოდა ჰაერზე. ამის შემდეგ, ისინი შეფასდებოდა ვიზუალურად ($\times 4$ გადიდების ლუპით),

როგორც ზედაპირზე დაკვირვებით, ასევე, საგანგებოდ გატეხილი ნიმუშების ახლადწარმოქმნილი ზედაპირის შემოწმებით.

მინებით გაფხვიერება (დამარცვლა) ხდებოდა რკინის სანაყში და შემდგომ (წმინდა ფრაქციებისათვის) ფაიფურის როდინში დამუშავებით დამსხვრეული მასალების ფრაქციებად დაყოფა განხორციელდა 5 საცრისგან შემდგარი საცერთა კრებულთ, რომელთა ბადის ნომერი და შესრულების სახე შემდეგი იყო:

- საცერი ლითონის, N 5 (ნახვრეტის დიამეტრი 5 მმ.);
- საცერი ლითონის ძირით, N3 (ნახვრეტის დიამეტრი 3 მმ.);
- საცერი ლითონის ძირით, N1 (ნახვრეტის დიამეტრი 1 მმ.);
- საცერი ლითონის უჯრედოვანი ბადით, N0,5
- საცერი ლითონის უჯრედოვანი ბადით, N0,1

მინის ნიმუშებისთვის სიმკვრივე განისაზღვრა ჰიდროსტატიკური აწონვის, ხოლო ნაყარი სიმკვრივე (ნაყარის მოცულობითი მასა) განისაზღვრა სხვადასხვა გრანულომეტრიის მქონე მარცვლოვანი, გარკვეული ფრაქციულობის მიღებულ ყველა მასალებისათვის, არასტანდარტულ ჭურჭელში (100მლ. ტევადობა) მოთავსებული ფხვნილების მასის დადგენით.

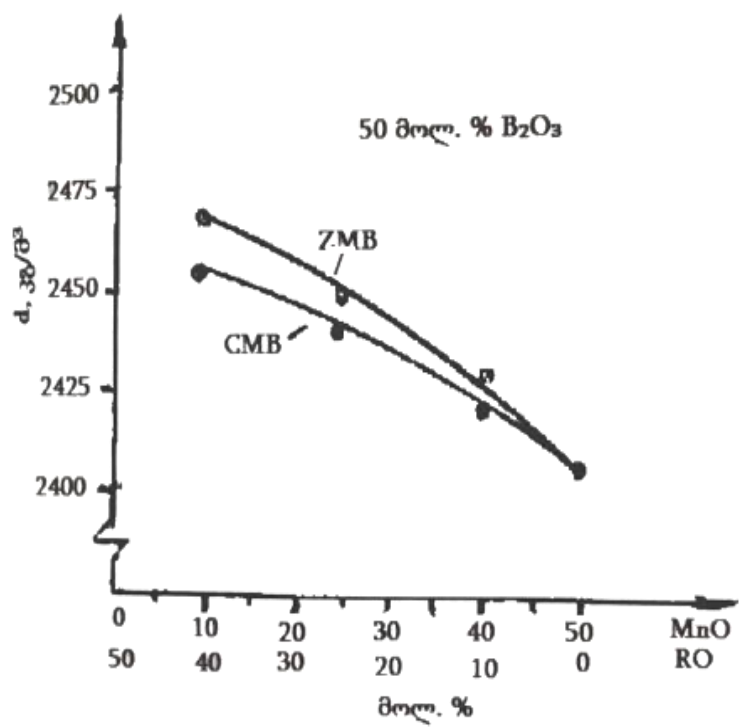
ტესტური რეაგენტების (2%-იანი ლიმონმჟავა და 0,1N NaOH-ს ხსნარი) განხორციელდა შესაბამისი მასალის (რეაგენტის) ფხვნილების მინის ჭურჭელში ჩასხმულ 100 მლ. თბილ (40°C) გამოხდილ წყალში გახსნით და თავდახურულ მინის ჭურჭელში (ლიმონმჟავას ხსნარი) ან პლასტმასის ქიმიურად მდგრად ჭურჭელში [46,66].

ორივე რეაგენტის მიმართ საკვლევი მინა-მასალის ფხვნილების ტესტირება განხორციელდა მინის ტექნოლოგიაში მიღებული მინა-მასალების ქიმიური მდგრადობის განსაზღვრის ფხვნილოვანი დაჩქარებული მეთოდით. ამისათვის, საკვლევად აიღებოდა $m_0=2-3$ გრ. მასის მინამასალის ფხვნილი (ანალიზურ სასწორზე $\pm 0,0001$ გრ. სიზუსტით აწონილი), რომელიც განთავსდებოდა მინის ბრტყელძირა ფართოყელიან

კონუსურ კოლბაში და შემდგომ იმავე კოლბაში ჩაისხმებოდა 50 მლ. რეაგენტის წინასწარ მომზადებული ხსნარი. კოლბის შიგთავსის მორევა მინის წკირით 30 წუთში ერთხელ ხდებოდა (ექსპერიმენტის ხანგრძლივობიდან გამომდინარე). გარკვეული, დაგეგმილი დროის შემდეგ ოთახის ტემპერატურაზე ($20 \pm 2^{\circ}\text{C}$) ჩატარებულ პირობებში მიღებულ კოლბაში არსებული შიგთავსი გატარდებოდა წინასწარ აწონილ ქარალდის ფილტრში (m_1 გრ.) და მასში არსებული მინამასალის დამუშავებული ფხვნილი შრებოდა საშრობში 2-3 სთ.-ის განმავლობაში $110 \pm 2^{\circ}\text{C}$. ფილტრში (მასში არსებული ნარჩენი ფხვნილით) კვლავ იწონებოდა (m_2 გრ.) და სხვაობით $m_3 = m_0 - (m_2 - m_1)$ მიიღებოდა რეაგენტში დამუშავებული მინა-მასალის ფხვნილის მასა. შემდგომი გათვლით $\Delta m (\%) = \frac{m_0 - m_3}{m_0} * 100$, მიღებულ იქნა მინამასალის დანაკარგის % რაოდენობა, წარმოქმნილი მისის რეაგენტში დამუშავების შედეგად.

2.5.2. ZMB და CMB სერიის მინების სიმკვრივე და ფხვნილების მოცულობითი მასა

მიღებულ მინებს განესაზღვრათ სიმკვრივე, რომლის შედეგები წარმოდგენილია მე-8 ნახაზზე. აღსანიშნავია, რომ საკვლევი სამკომპონენტური სისტემის აღმოსავალ ორკომპონენტურ 50 მოლ.% MnO და 50 მოლ.% B_2O_3 შედგენილობის მინებში MnO -ს ჩანაცვლება ZnO ან CuO -თი იწვევს მინების სიმკვრივეთა ზრდას, რაც კარგ შესატყვისობაშია შესაბამისი ოქსიდების მოლურ მასას შორის არსებულ სხვაობასთან ($M_{\text{MnO}}=70.9$; $M_{\text{CuO}}=79.5$; $M_{\text{ZnO}}=81.4$) ზოგადად, საკვლევი მინების სიმკვრივე დაახლოებით 2425-2470 კგ./მ³ (2.43-2.47 გრ/სმ³) ზღვრებში იცვლება.



ნახაზი 8 . ZMB და CMB სერიის მინების სიმკვრივეზე შედგენილობის გავლენა

როგორც აღინიშნა, მიღებული მინები დაქუცმაცდა და გაიცრა საცერთა კრებულში, ხოლო მიღებული 4 ფრაქციაში მარცვლების ზომა შეადგენდა.

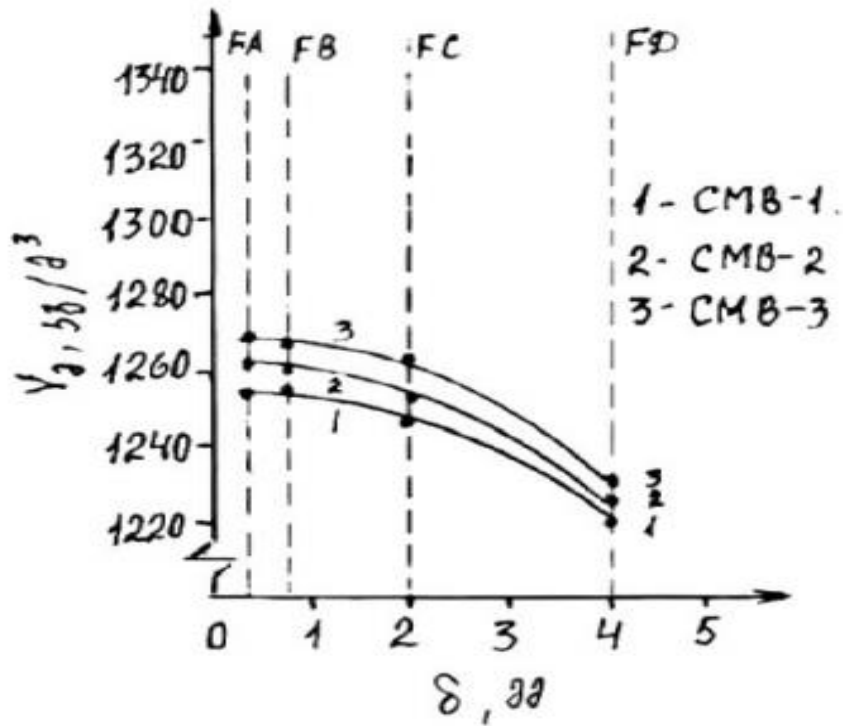
ფრაქცია A: $0.1 \text{ მმ.} \leq d_1 \leq 0,5 \text{ მმ.}$ (აღინიშნა FA; $d_{საშ.} = 0.3 \text{ მმ.}$)

ფრაქცია B: $0.5 \text{ მმ.} \leq d_2 \leq 1.0 \text{ მმ.}$ (აღინიშნა FB; $d_{საშ.} = 0.75 \text{ მმ.}$)

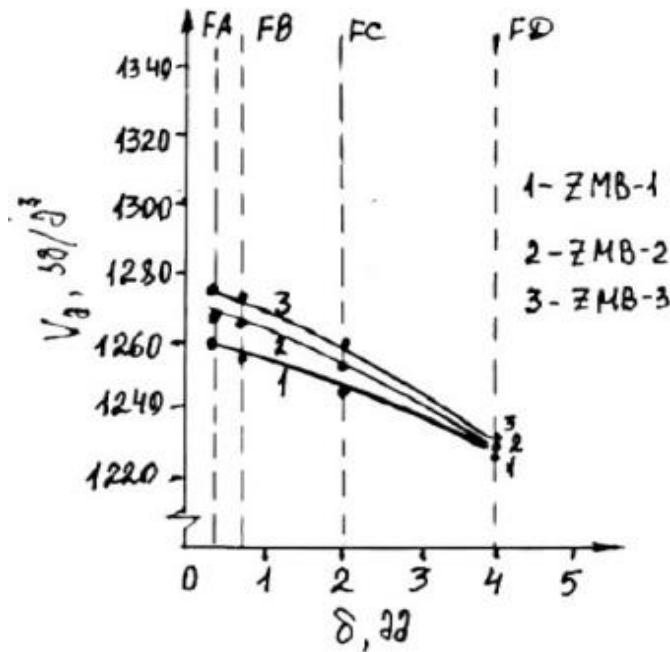
ფრაქცია C: $1.0 \text{ მმ.} \leq d_3 \leq 3.0 \text{ მმ.}$ (აღინიშნა FC; $d_{საშ.} = 2.0 \text{ მმ.}$)

ფრაქცია D: $3.0 \text{ მმ.} \leq d_4 \leq 5.0 \text{ მმ.}$ (აღინიშნა FD; $d_{საშ.} = 4.0 \text{ მმ.}$)

აღნიშნული მასალების ფრაქციებისათვის (6 შედგენილობა, თითო-ეულისათვის 4 ფრაქცია) განისაზღვრა ნაყარის სიმკვრივე (მოცულობითი მასა, კგ/მ³) ჩატარებული ექსპერიმენტის შედეგები წარმოდგენილია მე-9 და მე-10 ნახაზებზე.



ნახაზი 9. CuO-MnO-B₂O₃ კომპოზიციის CMB შედგენილობის მინების ფრაქციულობის გავლენა მათ ნაყარ სიმკვრივეზე



ნახაზი 10. 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 სიმკვრისის სიდიდეებზე და ის დამოკიდებულია:

- მინების შედგენილობაზე, რადგან ZMB-სერიის მინები ხასიათდებიან უფრო მაღალი V_{ϕ} -მნიშვნელობებით, ვიდრე CMB-სერიის მინები.
- რაც მეტია, შესაბამის სერიებში, ZnO-ს და CuO-ს რაოდენობა, მით მეტია იდენტური ფრაქციულობის მასალის მოცულობითი სიმკვრივე. კვლევის მიღებული შედეგები შეჯერდა და წარმოდგენილია მე-9 ცხრილში.

ცხრილი 9. CMB და ZMB სერიის მინების კრისტალიზაციური უნარი, სიმკვრივე და მათი ფხვნილების მოცულობითი მასა

N	თვისება	განზ. ერთი	მინების სერია და შედგენილობათა ინდექსები					
			სერია ZMB მინის N			სერია CMB მინის N		
			1	2	3	1	2	3
1	სიმკვრივე	კგ/მ ³	2427	2452	2470	2425	2430	2560
2	ნაყარი სიმკვრივე ფრაქციულობის მიხედვით:							
	FA($\delta_{საშ}=0.30\text{მმ}$)	1260	1267	1274	-	1255	1263	1269
	FB($\delta_{საშ}=0.75\text{მმ}$)	1258	1266	1268		1250	1260	1266
	FC($\delta_{საშ}=2.00\text{მმ}$)	1246	1252	1260		1246	1252	1260
	FD($\delta_{საშ}=3.00\text{მმ}$)	1230	1233	1236		1205	1212	1225

2.5.3. ZMB და CMB შემადგენლობის მინების ფხვნილების ხსნადობა სატესტო რეაგენტებში

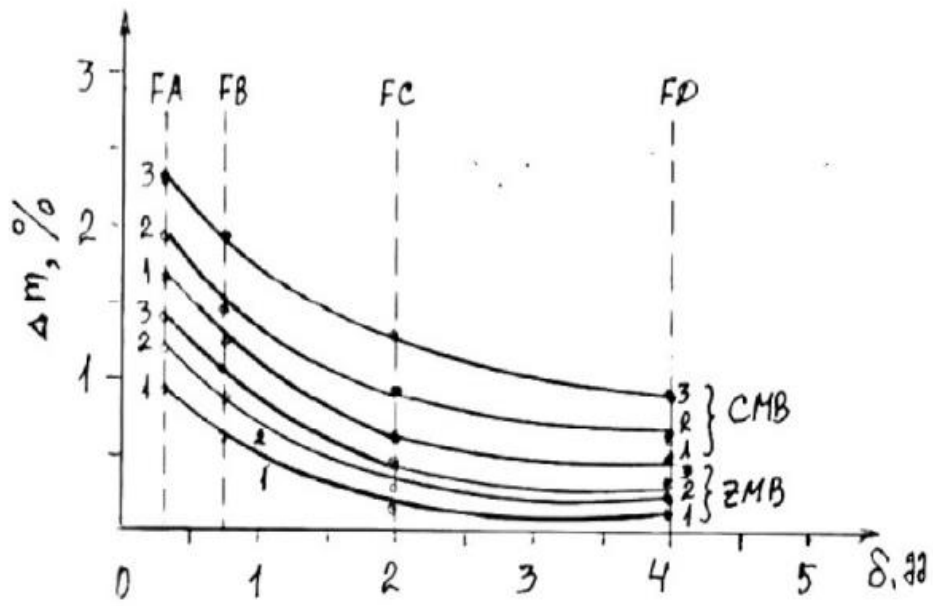
მიღებული მინების პროლონგური ხასიათის მიკროსასუქების სახით გამოყენების დასადგენად ჩვენს მიერ ჩატარდა ექსპერიმენტული ხასიათის სამუშაო, რომლითაც გამოვლინდა მიღებულ მასალათა წამყვანი თვისებების-მათში შემავალი მიკროელემენტების ხსნადობის ტესტირება. აღნიშნულ თვისებას უნდა გამოევიდინა მიღებული მასალების ქმედების პროლონგური ხასიათი და განსხვავებული ხასიათის ნიადაგში პოტენციური ხსნადობის შესაძლებლობა. აღნიშნულთან დაკავშირებით საჭირო გახდა მიღებული მასალების ხსნადობის განსაზღვრა სატესტო რეაგენტებში და კიდევ ერთი ფაქტორის დადგენა-როგორია მიღებულ მასალათა მათში 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 მიღებულია მათი სუსტი მჟავა და სუსტი ტუტე გარემოში ტესტირება. ამისათვის, რეკომენდირებულია შესაბამისად 2% ლიმონის მჟავასა და 0,1N ნატრიუმის ტუტის გამოყენება [48,58,115,120].

რეაგენტების ტემპერატურა ცდის ჩატარებისას შეადგენდა $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$, ხოლო რეაგენტების ზემოქმედების დრო 2 საათით განისაზღვრა. ცდები ჩატარდა 50მლ. ტევადობის მინის ქიმიურ ჭურჭელში, რომელშიც განთავსდებოდა გარკვეული ფრაქციულობის წინასწარ აწონილი ფხვნილის ულუფა დაახლოებით 2 გრ. ოდენობით (m_0 -საწყისი წონა), რომელსაც ემატებოდა 20 მლ. რეაგენტი და ერთჯერადად ხდებოდა სუსპენზიის მორევა მინის

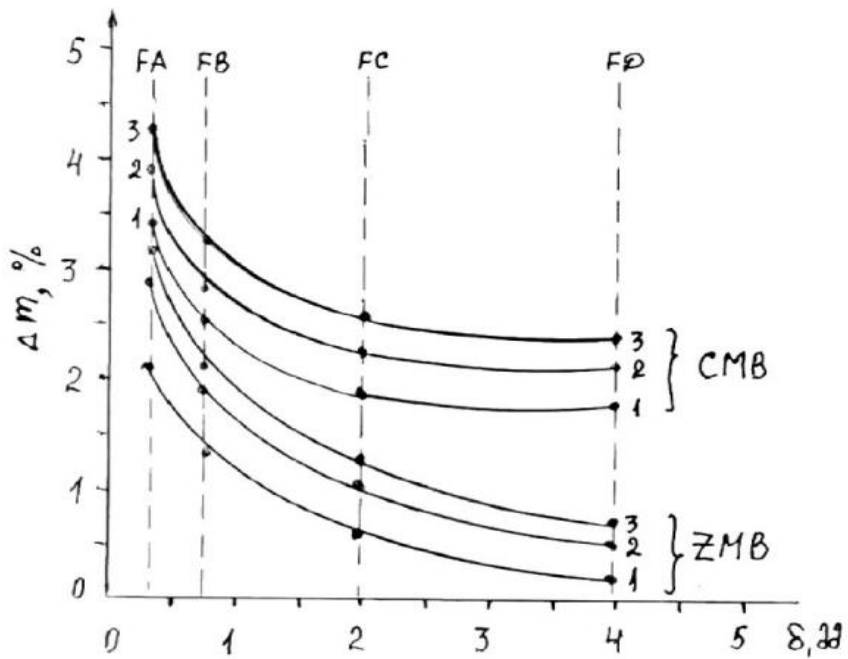
წვირით. ამის შემდეგ ჭიქას ეხურებოდა მინის ე.წ საათის მინა. ცდის დაწყებიდან 2 საათის შემდეგ, ჭიქის შიგთავსი თავსდება (გატარდება) ქაღალდის უნაცრო ფილტრში, რომელიც წინასწარ იყო აწონილი (m_1 -ფილტრის წონა). ხსნარის ფილტრში სრული გასვლის შემდეგ (დაახლოებით 25-30 წთ), ფილტრი გადაიტანებოდა საშრობში, სადაც მისი და ფხვნილის შრობა ტარდებოდა $105 \pm 2^\circ\text{C}$ 2-2,5 საათის განმავლობაში. ფილტრი და მასში არსებული ფხვნილოს ულუფა იწონებოდა (m_2 -გამომშრალი ფილტრის და მასში ნარჩენი ფხვნილის წონა) და ბოლოს გამოითვლებოდა საცდელი მინის ფხვნილის %-ული დანაკარგი სატესტო რეაგენტში. რაც შეეხება ფილტრში გასულ ხსნარს, ის ინახებოდა მინის 50 მლ-იან თავსახურიან სააფთიაქო ჭურჭელში და გამოიყენებოდა სხვა მიზნობრივ კვლევაში.

ცდის ყველა ეტაპზე განხორციელებული აწონვები ჩატარდა ელექტროსასწორზე $\pm 0,0001$ გრ სიზუსტით, ხოლო დანაკარგები (Δm_1 %) გათვლილ იქნა $\Delta m (\%) = \frac{m_0 - m_3}{m_0} * 100$ გამოსახულების გამოყენებით.

ჩატარებული ექსპერიმენტით დადგინდა ორი (ZMB და CMB სერიის) ექვსივე შედგენილობის მინის სხვადასხვა ფრაქციულობის ფხვნილის ხსნადობა, რაც მე-11 ნახაზზეა გრაფიკის სახით წარმოდგენილი. მინის ფხვნილების ხსნადობა 2%-იან ლიმონმჟავაში, ხოლო მე-12 ნახაზზე მათი ხსნადობა რეაგენტად 0,1% NaOH-ის გამოყენების შემთხვევისათვის ორივე ნახაზზე დანაკარგების მნიშვნელობები მოყვანილი მარცვლები საშუალო ფრაქციულობისათვის, რომლებიც ნახაზზე აღინიშნება : FA, FB, FC, FD.



ნახაზი 11. თუთიისა (სერია ZMB) და სპილენძის (სერია CMB) ოქსიდების შემცველი ზორმანგანუმიანი მინების მარცვლების ხსნადობა 2% ლიმონმჟავას ხსნარში



ნახაზი 12. თუთიისა (ZMB) და სპილენძის (CMB) ოქსიდების RO-MnO-B₂O₃ სისტემის მინების მარცვლების ხსნადობა 0.1N NaOH-ის ხსნარში

მიღებული შედეგების საფუძველზე შეიძლება გაკეთდეს შემდეგი დასკვნები: $\text{CuO-MnO-B}_2\text{O}_3$ სისტემის მინა-მასალების ხსნადობა ორივე (მჟავა და ტუტე) სახის რეაგენტში, $\text{ZnO-MnO-B}_2\text{O}_3$ სისტემის იდენტური შემადგენლობის მინა-მასალებთან შედარებით, მაღალია და დაახლოებით 2-ჯერ მეტია.

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

ექსპერიმენტული კვლევის კიდევ ერთი მიმართულება ითვალისწინებდა საცდელი მასალების წონის დანაკარგების (ხსნადობა, %) დადგენას მათი ხანგრძლივი დროით სატესტო რეაგენტებში დამუშავებისას. აღნიშნული მიმართულებით კვლევა ითვალისწინებდა ოთხი განსხვავებული შედგენილობის ($\text{ZnO - MnO - B}_2\text{O}_3$ და $\text{CuO - MnO - B}_2\text{O}_3$ სისტემის მინები) და განსხვავებული ხსნადობის მაღალი მაჩვენებლების მქონე მასალათა ტესტურ რეაგენტებში შესწავლის ამ ეტაპზე, კვლევა ჩატარდა განსხვავებული მეთოდით, როდესაც ტესტურ რეაგენტებში მოთავსებული მინის ფხვნილები სტაციონარულად (მინის წკირით მორევა არ ხდებოდა) დაყოვნდებოდა რეაგენტში რამოდენიმე დღის (4 დღე ანუ 96 სთ) განმავლობაში. კვლევა ჩატარდა მხოლოდ ერთი რეაგენტის 2 % ლიმონმჟავაში ტესტირების პირობებისთვის.

კვლევა ჩატარდა ოთხ შედგენილობასთან მიმართებაში რომლებშიც 10 და 40 მოლ.% CuO ან ZnO იყო წარმოდგენილი (შედგენილობები ZMB-1, ZMB-2, და CMB-1, CMB-3). კვლევის შედეგები, რომლებიც ასახავენ ერთნაირ ფრაქციულობას მინის ხსნადობის ლიმონმჟავას 2%-იან ხსნარში წარმოდგენილია მე-10 ცხრილში.

ცხრილი 10. საკვლევი მინამასალების ტესტურ რეაგენტში ხანგრძლივი დამუშავებით გამოწვეული ხსნადობის მაჩვენებლები (ფრაქციულობა FC, =2.0 მმ)

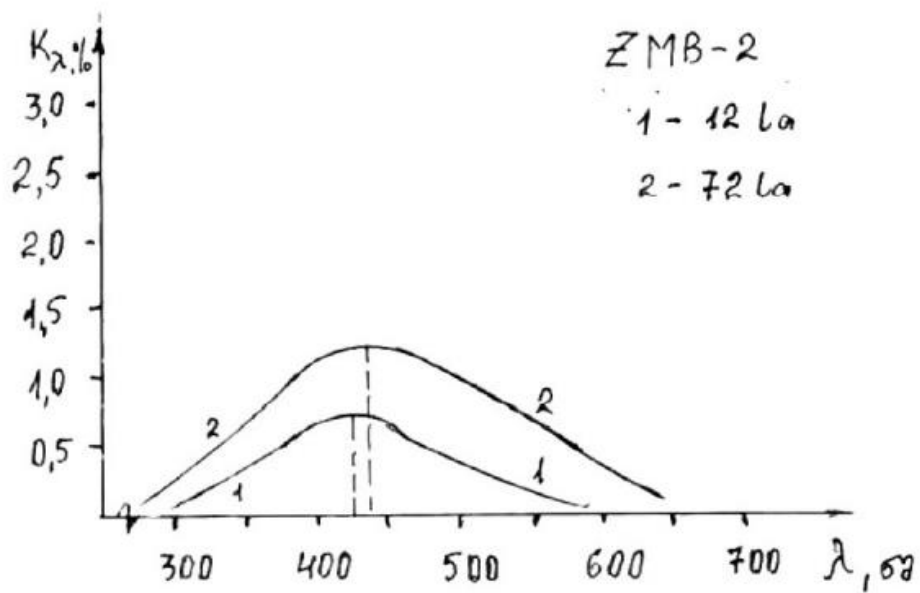
შედგენილობის ინდექსი	ტესტურ რეაგენტში (2%-იანი ლიმონმჟავა) წონის დანაკარგების %				
	რეაგენტში დამუშავების ხანგრძლივობა, სთ				
	12	24	48	72	96
ZMB – 1	0,44	0,78	2,31	3,10	4,94
ZMB – 3	1,68	2,94	3,98	4,27	6,21
CMB – 1	1,05	1,81	2,02	9,58	13,86
CMB – 3	6,32	8,21	12,46	14,33	18,74

აღნიშნული 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 მაღალი ხსნადობით გამოიჩვენებენ, ვიდრე მათი სპილენძშემცველი ანალოგები.

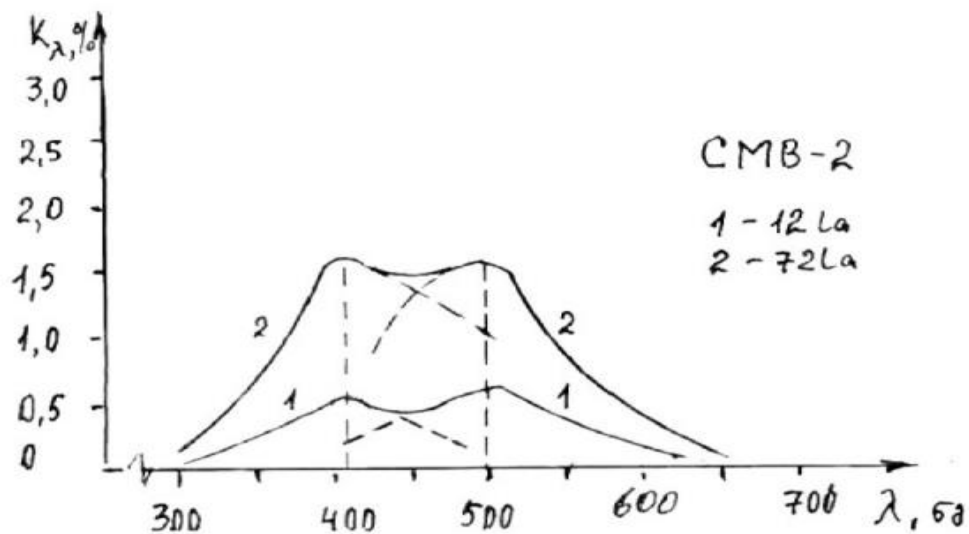
როდესაც საკვლევი მინების სხვადასხვა ფრაქციულობის ფხვნილების ტესტურ რეაგენტში ხსნადობის განსაზღვრის მეთოდიკა იქნა აღწერილი, აღინიშნა, რომ გაფილტვრისას, ფილტრში გასული რეაგენტი რჩებოდა. აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ ლიმონმჟავას გამოყენებისას ნარჩენი ხსნარები შეფერილი იყო. კერძოდ, სპილენძისა და მანგანუმის ოქსიდების შემცველი ბორატული მინის ფხვნილების ხსნადობის შედეგად წარმოქმნილი ნარჩენი ხსნარი მღვრიე (არაერთგვაროვანი) სუსტად მოვარდისფრო-

მომწვანო შეფერილობის, ხოლო თუთიის ოქსიდის მანგანუმბორატული მინები მოვარდისფრო ფერის ხსნარებს ტოვებენ. აგრეთვე აღსანიშნავია კიდევ ერთი გარემოება, მრავალსაათიანი და მრავალდღიანი დაყოვნება ფხვნილების ლიმონჟავას ხსნარში ტესტირებისას იწვევს ხსნარის ფერის ინტენსივობის ზრდას, ე.ი. შეფერილობა უფრო მკაფიო ხდება. აღნიშნული გარემოება უნდა უკავშირდებოდეს მინის ფხვნილში (მინის შედგენილობაში) არსებული ტალღის სამი სახის პოლივალენტური ელემენტების (Cu, Mn, Zn) ლიმონმჟავასთან ურთიერთობას. აღნიშნული ურთიერთობისას ლიმონმჟავას შესაბამისი მარილების (ციტრატების) წარმოქმნა უნდა ხდებოდეს. ცნობილია, რომ თუთიის ციტრატი შეფერილი არ არის (თეთრია), ხოლო სპილენძისა და მანგანუმის დამახასიათებელი, შესაბამისად მოლურჯო-მომწვანო და ვარდისფერი შეფერილობა. მინიდან მისი რეაგენტებში ხსნადობის შედეგად წარმოქმნილი ციტრატები უდაოდ გამოიწვევენ ხსნარების შეფერილობას, აღნიშნული ფაქტის (ხსნარის შეფერვა და შეფერილობის ხარისხის დამოკიდებულება მინაზე რეაგენტის მოქმედების დროზე) არსებობა უნდა დაედასტურებინა პოსტრეაქციული ხსნარების სპექტრალურ ანალიზს.

ამ მიმართულებით ჩატარდა კვლევა, რომელიც განხორციელდა ორი სახის მინებზე (ZMB-2 და CMB-2) 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 დიაპაზონში (ხილვადი სპექტრის ნაწილი). საცდელი ფხვნილის ზომები ორივე მინის შემთხვევაში შეესატყვისებოდა FC-ს ფრაქციას (მარცვლების ზომა 1-დან 3 მმ.-მდე).



ნახაზი 13. ZMB-2 შედგენილობის მინის ლიმონმჟავას ხსნარში ტესტირებისას წარმოქმნილი ნარჩენი ხსნარის სპექტრული მრუდი
1-დამუშავება 12 სთ; 2-დამუშავება 72 სთ



ნახაზი 14. CMB-2 შედგენილობის მინის ლიმონმჟავას ხსნარში ტესტირებისას წარმოქმნილი ნარჩენი ხსნარის სპექტრული მრუდი
1-დამუშავება 12 სთ; 2-დამუშავება 72 სთ

სპექტრალური მრუდების „ K_{λ} - λ ” დამოკიდებულების (შთანთქმის კოეფიციენტი - ტალღის სიგრძე) სვლა და ინტენსივობა გვიჩვენებს, რომ

ZMB-2 მინის შემთხვევაში მკაფიოდ დაფიქსირდება მანგანუმის იონის (Mn^{2+}) ხსნარში არსებობა, რომლის შემცველობა იზრდება (K_{λ} - და 0.75 და 1.3-მდე იზრდება) Mn^{2+} -სათვის დამახასიათებელი $\approx 410-420$ ნმ. ტალღის სიგრძისათვის.

რაც შეეხება CMB-2 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_{λ} - λ “ მრუდის შემადგენლობა (რიგით მეორე გრძელტალღოვანი) 450-დან 550 ნმ. სიგრძის ტალღების უბანს მოიცავს, ე.ი. მასში შეიძლება ლურჯი შეფერილობაც არსებობდეს (ნახ.14). მწვანე-ლურჯი შეფერილობა კი სპილენძის ნაერთების არსებობაზე უნდა მიუთითებდეს. მაშასადამე, შეიძლება გამოითქვას ვარაუდი, რომ არსებობს გარკვეული მტკიცებულება, რომ $CuO-MnO-B_2O_3$ სისტემის CMB- შემადგენლობაში ლიმონმჟავა (სუსტი მჟავა გარემო) იწვევს მინის დაშლას და ხსნარში სპილენძისა და მანგანუმის იონების გადასვლას. სპექტრული მრუდით არ ფიქსირდება, მაგრამ აღნიშნული ფაქტი უშუალოდ გამოიწვევს ბორის არსებობას რეაგენტულ ხსნარში, რადგან ეს მინის სტრუქტურის დაშლის აუცილებელ პირობად შეიძლება მივიჩნიოთ.

რაც შეეხება ZMB-2 შედგენილობას, რომელშიც მხოლოდ ერთი პოლივალენტური ელემენტია წარმოდგენილი (მანგანუმი), მისი და ლიმონმჟავას ურთიერთქმედებით წარმოქმნილი ხსნარის სპექტრულ მრუდზე მხოლოდ ერთი მაქსიმუმი ფიქსირდება (ნახ.13). მაქსიმუმის ინტენსივობის პიკი 410-420 ნმ. სიგრძის ტალღების უბანზე მოდის, რაც ხსნარში მანგანუმის იონების არსებობას ე.ი მინიდან „გამოყვანის“ შესაძლებლობაზე მეტყველებს. მინის ლიმონმჟავას ხსნარით დამუშავების ხანგრძლივობის ზრდა 12-დან 72 სთ-მდე ზრდის შთანთქმის კოეფიცი-

ენტის (K_λ) მნიშვნელობას. აქედან შეიძლება ითქვას, რომ მინა იშლება თანდათანობით და მოსალოდნელია მისი ხანგრძლივი „მუშაობა“ მიკროელემენტუმცველ მასალის სახით.

2.6. მინების დაკრისტალეობა და მიღებული კომპოზიტური მასალების ხსნადობა სატესტო რეაგენტებში

კარგადაა ცნობილი, რომ მინისებრი (ამორფული) მასალა მეტასტაბილურ მდგომარეობაში იმყოფება და ხელსაყრელი პირობების შექმნით ის შეიძლება გადაყვანილ იქნას მონოკრისტალურ მასალაში. მონოკრისტალური მასალები თავისი თვისებებით განსხვავდებიან იმ მინის თვისებებთან შედარებით რომლისგან იყვენ მიღებული, ხოლო აღნიშნულს განსაზღვრავს გარდაქმნის ხარისხი - თუ როგორია მონოკრისტალურ (კომპოზიტურ) მასალაში ამორფული და კრისტალურ შემადგენლობებს შორის არსებული თანაფარდობა [69-74].

აღნიშნულ გარემოებას ჩვენს მიერ დასახული ამოცანის გადაწყვეტაშიც შეიძლება გარკვეული როლის შესრულება - საკვლევი მინების დაკრისტალეობით მოსალოდნელი ხდებოდა მონოკრისტალური ბუნების კომპოზიტების მიღება. ასეთი კომპოზიტები, სხვა თვისებებთან ერთად, ხსნადობაზეც მოახდენდა გავლენას და ამ გზით ხელს შეუწყობდა საკვლევ კომპოზიციებში განსხვავებული თვისობრივი მახასიათებლის მქონე მასალა-კომპოზიტების მიღება-შექმნას.

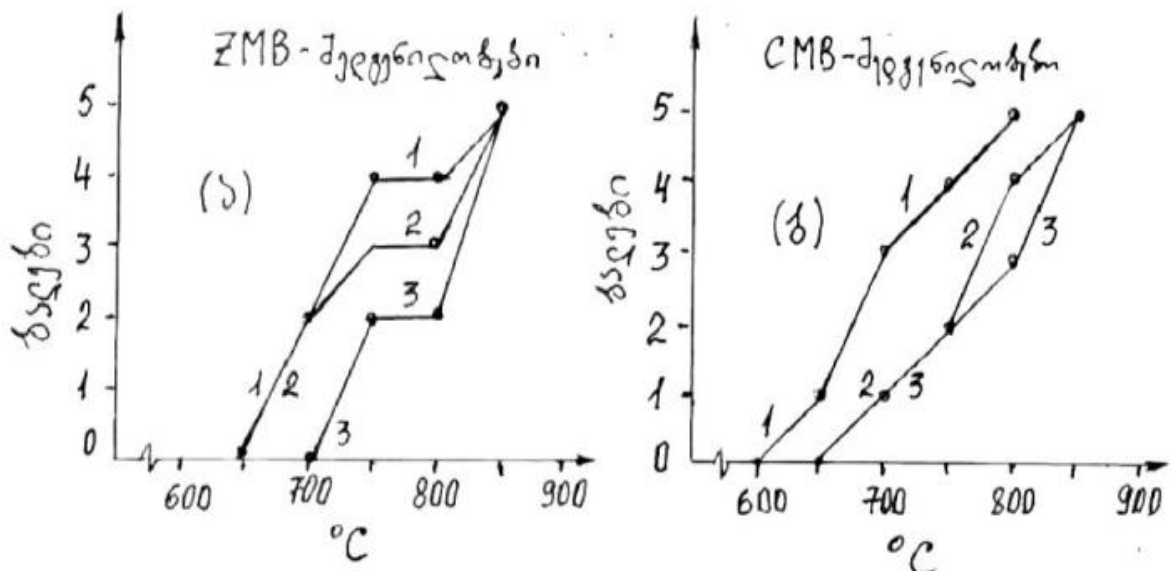
ორი სისტემის, კერძოდ ZMB და CMB შედგენილობის, ექვსივე საკვლევი მინის კრისტალიზაციური უნარის შესწავლა განხორციელდა 600-900°C ტემპერატურულ ინტერვალში. ტემპერატურული ბიჯი შეადგენდა 50°C, ხოლო სასურველ (შერჩევა) ტემპერატურაზე დაყოვნება 1 საათს.

როგორც აღინიშნა (თავი 1.2), მინის კრისტალიზაციის უნარის შეფასება ხდებოდა ლუპით x4 გადიდებისას დაკვირვებით. შესაფასებლად

გამოყენებულ იქნა [65]-ში რეკომენდირებული 6 ბალიანი შეფასების პირობითი შკალა, რომელიც მე-11 ცხრილშია წარმოდგენილი.

ცხრილი 11. საკვლევი მინების კრისტალიზაციისადმი მიდრეკილების შეფასების პირობითი შკალა

შეფასების ბალები	მინის ნიმუშის სახე	დამატებითი აღნიშვნა
0	უცვლელი	საწყისი სახე არ შეცვლილა
1	ზედაპირზე კრისტალიზაციური აფსკის წარმოქმნა	მოცულობის 10%-მდე
2	ზედაპირზე კრისტალიზაციური ქერქის წარმოქმნა	მოცულობის 30%-მდე
3	კრისტალების დაჯგუფების არსებობა მინის მოცულობაში	მოცულობის 70%-მდე
4	სრული მოცულობითი დაკრისტალეზა	მოცულობის 90%-მდე
5	გამინებული ნადნობი	კრისტალების გარეშე



ნახაზი 15 . ZnO-MnO-B₂O₃ (ა) და CuO-MnO-B₂O₃ (ბ) საკვლევი მინების დაკრისტალეზის უნარი

ორივე სერიის განსხვავებული შედგენილობის მინების დაკრისტალეზისადმი მიდრეკილების შეფასების შედეგები წარმოდგენილია მე-15 ნახაზზე.

მიღებული გრაფიკული მასალიდან, რომელიც მე-15 ნახაზზეა წარმოდგენილი, შესაძლებელი გახდა ZMB და CMB სერიის მინების აქტიური კრისტალიზაციის ტემპერატურული უბანის დადგენა. აღნიშნულ უბანს შეესატყვისება პირობითი შეფასების შკალის 3 და 4 შეფასების ბალები: 3 - კრისტალების დაჯგუფების არსებობა მინის მოცულობაში (მოცულობაში კრისტალებზე მოდის 70%-მდე) და 4 - ადგილი აქვს მინების პირობითად სრულ (დაახლოებით 90%-იან) დაკრისტალეზას. ჩატარებული ექსპერიმენტის საფუძველზე შესაძლებელი გახდა ამ მიმართულებით ჩატარებული კვლევის შედეგების შეჯერება, რაც წარმოდგენილია მე-12 ცხრილში.

ცხრილი 12. ZMB და CMB სერიის მინების აქტიური კრისტალიზაციის ტემპერატურული ინტერვალი

N	სისტემა	შედგენილობის ინდექსი	კრისტალიზაციის უნარის (ბალები) და შესატყვისი აქტიური კრისტალიზაციის ტემპერატურული ინტერვალი (°C)	
			ბალი 3	ბალი 4
1	ZnO-MnO-B ₂ O ₃	ZMB-1	700	750-800
		ZMB-2	750-800	825*
		ZMB-3	825*	825*
2	CuO-MnO-B ₂ O ₃	CMB-1	700*	750*
		CMB-2	775*	800*
		CMB-3	800*	825*

შენიშვნა: *-შედეგი დაფიქსირდა „ბალები-ტ“ აღმავალ მრუდზე.

მიღებული შედეგებიდან ჩანს რომ თუთიის ოქსიდის შემცველი ზოგიერთი მანგანუმბორატული მინები ინტენსიურად კრისტალდებიან (3 და 4 ბალი) 750-825 °C ტემპერატურულ ინტერვალში, ხოლო მათი ლღობა 850°C -ზე მიიღწევა. ამასთან, კრისტალიზაციის უნარის ზრდის მიხედვით ZMB - სერიის სამივე შესწავლილი მინა შემდეგი მწკრივის სახით შეიძლება წარმოდგინოთ: ZMB-1 > ZMB -2 > ZMB-3 ე.ი. 50 მოლ.% B₂O₃ 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.)

როგორც აღინიშნა, საწყისი მინები მიდრეკილნი არიან კრისტალიზაციისადმი, რაც იწვევს საკვლევი მინების გარდაქმნას მინაკრისტალურ მასალაში - კომპოზიტში. ესეიგი, საწყისი ამორფული მდგომარეობიდან (მოუწესრიგებელი მთელ მოცულობაში) მინაში წარმოიქმნება მეტ-ნაკლები ოდენობით, მოწესრიგებული ანუ დაკრისტალებული უბნები. ეს უბნები (ცალკეული კრისტალები ან მათი აგლომერატები) შეკავშირებული არიან ამორფული შემადგენლით, რომელიც ძირითადად წარმოდგენილი უნდა იყოს მინის წარმომქმნელით - ჩვენს შემთხვევაში,

ძირითადად, მინისებრი ზორის ანჰიდრიდით ან ადვილად დნობადი ზორატებით.

კომპოზიტის ანუ მინაკრისტალური მასალის წარმოქმნას უნდა შეეცვალა (საწყის მინასთან შედარებით ახალი მასალის თვისებები). აღნიშვნის წინაპირობას წარმოადგენდა მინების დაკრისტალებით მიღებული კრისტალური ფაზების რაობა და ოდენობა. რაც შეეხება ფაზების მოსალოდნელ სახეობას - ის არ უნდა განსხვავდებოდეს საკვლევი მინის კაზმებში მაღალტემპერატურული დამუშავებით მიღებულ კრისტალურ ფაზებს. ამ მიმართულებით ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევის შედეგები წარმოდგენილია მე-16 და მე-17 ნახაზებზე, ხოლო ორი საკვლევი (ZnO-MnO-B₂O₃ და CuO-MnO- B₂O₃) სისტემის მინის კაზმებთან მიმართებაში შეჯერებული შედეგები მოყვანილია მე-7 ცხრილში.

ცხრილი 13 .საწყისი ZMB და CMB სერიის მინების დაკრისტალებით გამოწვეული სიმკვრივეთა ცვლილება

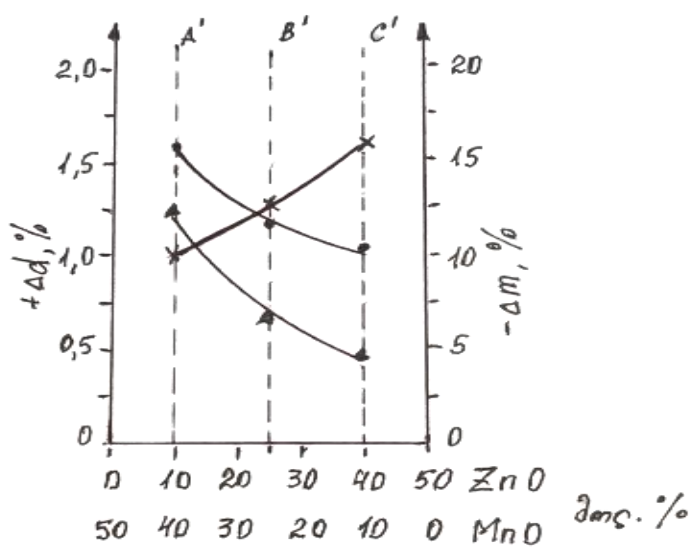
მინის სერია და ნომრები	მინამასალათა სიმკვრივე, კგ/მ ³					სიმკვრივის ცვლილება, %
	საწყისი მინის სიმკვრივე	დაკრისტალებული მინა (კომპოზიტი)			კომპოზიტის სიმკვრივე	
		დაკრისტალების პარამეტრები		დაკრისტალების ხარისხი (ბალი)		
		ტემპერატ. C	დრო, სთ			
ZMB-1	2427	750	1,0	4	2468	1,6
ZMB-2	2452	“	“	3	2481	1,2
ZMB-3	2470	“	“	2	2497	1,0
CMB-1	2425	750	1,0	4	2470	1,8
CMB-2	2430	“	“	2	2448	0,8
CMB-3	2560	“	“	2	2579	0,7

ცხრილი 14. საწყისი ZMB და CMB სერიის მინების დაკრისტალებით გამოწვეული ხსნადობის ცვლილება ტესტურ რეაგენტებში

მინის სერია და ნომერი	მინებისა და კომპოზიტების ხსნადობა (1) სატესტო რეაგენტებში (%)					
	2%-იანი ლიმონმჟავა			0,1N NaOH-ში		
	საწყისი მინა	დაკრისტა- ლებული (2) მინა (კომპოზიტი)	ხსნადობის ცვლილება	საწყის ი მინა	დაკრისტა- ლებული (2) მინა (კომპოზიტი)	ხსნადობის ცვლილება
ZMB-1	1,1	0,9	10,1	3,2	2,8	12,5
ZMB-2	0,8	0,7	12,5	2,9	2,7	6,9
ZMB-3	0,6	0,5	15,8	2,1	2,0	4,8
CMB-1	1,9	1,7	10,5	4,3	3,9	11,6
CMB-2	1,5	1,4	9,0	3,9	3,7	5,1
CMB-3	1,3	1,2	7,6	3,4	3,3	2,9

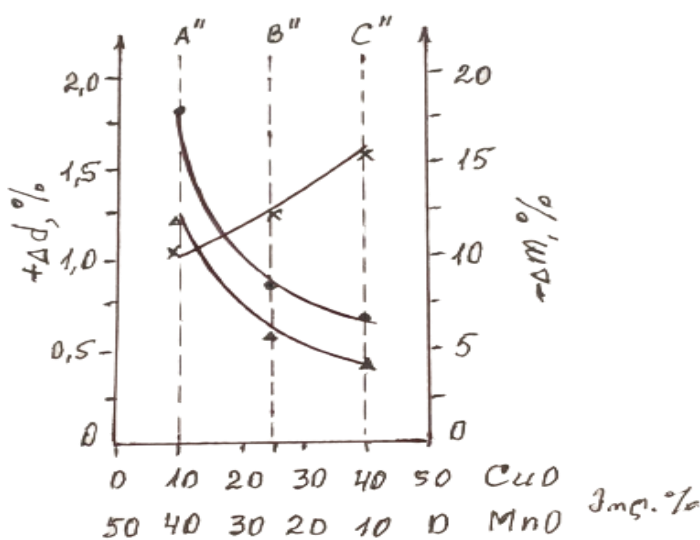
- (1) - მასალათა საშუალო ფრაქციულობა $d_{50}=2,0\text{მმ}$
 (2) - დაკრისტალების პირობები იხ. მე-10 ცხრილში

ჩატარებული კვლევების საფუძველზე შეიძლება რეალურად მივიჩნიოთ ZMB სერიის მინების კრისტალიზაციის შედეგად თუთიისა და მანგანუმის დიბორატების არსებობა (ZnB_2O_4 და MnB_2O_4) რაც შეეხება CMB სერიის მინების დაკრისტალებას - აქ მოსალოდნელია, ძირითადად, ისევე 2 სახის კრისტალური ნაერთის არსებობა: MnB_2O_4 (მანგანუმის დიბორატი) და CuB_2O_4 (სპილენძის დიბორატი). ცალკეულ სერიებში ამა თუ იმ კრისტალური ფაზის ოდენობას უნდა განსაზღვრავდეს საწყისი მინის შედგენილობა (მოყვანილია მე-5 ცხრილში), რომელსაც ჩვენ დავეყრდნობით საწყისი მინებისა და მათი დაკრისტალებით მიღებული კომპოზიტების (მინაკრისტალური მასალების) თვისებათა შედარებითი ანალიზის განხილვისას. საკვლევად აღებული 6 განსხვავებული შედგენილობის ZMB და CMB სერიის მინების დაკრისტალების შედეგად მიღებული კომპოზიტების თვისებები მოყვანილია მე-13 და მე-14 ცხრილებში.



ნახაზი 16. ZMB სერიის მინების ($d_{\text{საზ}}=2\text{მმ}$) დაკრისტალებით გამოწვეულ თვისებათა ცვლილება

A^I – (CMB-1); B^I – (CMB-2); C^I – (CMB-3)
 - სიმკვრივის Δd ცვლილება; X-წონის დანაკარგები Δm 2%-იან ლიმონმუყავაში
 Δ - წონის დანაკარგები Δm 0,1N NaOH



ნახაზი 17. CMB სერიის მინების ($d_{\text{საზ}}=2\text{მმ}$) 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 ლიმონმუყავაში
 Δ - წონის დანაკარგები Δm 0,1N NaOH

საწყისი სამ-სამი ZMB და CMB სერიის მინების დაკრისტალეზით გამოწვეულ სიმკვრივეთა ცვლილება ძირითადად უკავშირდება დაკრისტალეზის ხარისხს. კერძოდ, ZMB სერიის მინებისთვის დაკრისტალეზის ხარისხის ცვლილება შემდეგი მწკრივით შეიძლება იქნას წარმოდგენილი: ZMB-1 (4 ბალი) - ZMB-2 (3 ბალი) - ZMB-3 (2 ბალი) რაც 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) - CZMB-2 (2 ბალი) - CMB-3 (2 ბალი) მაგრამ, ამ შემთხვევაში დაკრისტალეზი 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). საწყისი მინებისა და მათი დაკრისტალეზით მიღებული კომპოზიტები სიმკვრივეთა რეალური მნიშვნელობები მოყვანილია მე-13 ცხრილში.

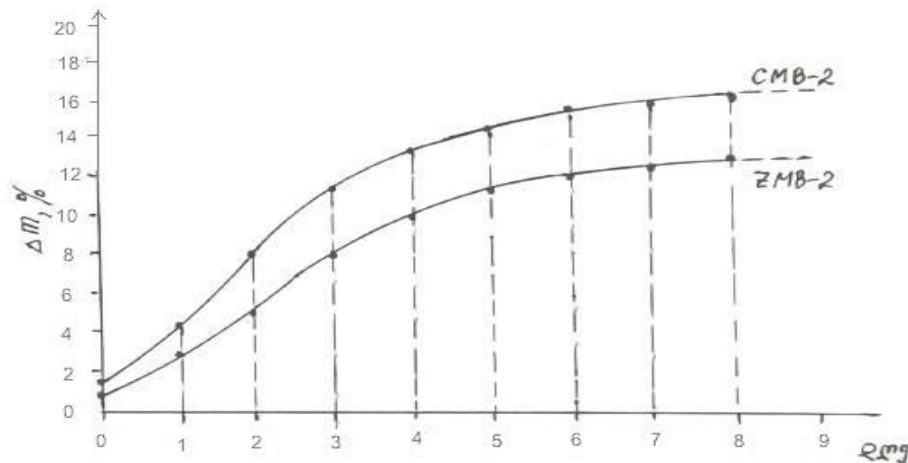
შემდგომი კვლევებით დადგინდა, რომ მინების მაღალტემპურატურული დამუშავებით კომპოზიტურ/მინაკრისტალურ მასალაში გარდაქმნა იწვევს ახალი მასალების განსხვავებულ ხსნადობას ტესტურ რეაგენტებში. ამასთან, კვლევის მეთოდიკიდან გამომდინარე (ფხვნილები 2 საათიანი დამუშავება სატესტო რეაგენტში) ერთნაირი მიდგომით ჩატარებული მასალების კვლევამ აჩვენა, რომ დაკრისტალეზი მნიშვნელოვნად ცვლის კომპოზიტების ხსნადობას. კერძოდ, ლიმონმჟავას 2%-იან ხსნართან მიმართებაში ხსნადობა იზრდება ZMB-1 (4 ბალი) შედგენილობიდან ZMB-3 (2 ბალი) გადასვლისას ამცირებს დაახლოებით 10-დან 16%-მდე. იგივე ტენდენცია დაფიქსირდა CMB სერიის მინებისთვის, სადაც მაღალი კრისტალიზაციის უნარის (4 ბალი) გამორჩეული CMB-1 შედგენილობის მინის დაკრისტალეზი ამცირებს მასალის ხსნადობას დაახლოებით 10%-ით, როდესაც ნაკლებკრისტალეზადი (2 ბალი) CMB-2 და CMB-3 შედგენილობებისათვის ხსნადობათა შორის სხვაობა 13 და მეტ პროცენტს შეადგენს (ცხრილი 14).

რაც შეეხება მეორე სატესტო რეაგენტის, 0,1 NaOH-ის ხსნარს - მინის დაკრისტალების ხარისხის გავლენას მასალათა ხსნადობაზე, იგივე ტენდენციება ავლენს. განსხვავება ხსნადობის შემცირებაში გამოვლინდა-ტუტე ხასიათის სატესტო რეაგენტებში ხსნადობის შემცირებას აქვს ადგილი (ცხრილი 14).

მიღებული შედეგების საფუძველზე შესაძლებელი გახდა თვისებათა ცვლის ტენდენციების წარმოდგენა გრაფიკული მასალი სახით. კერძოდ ZMB - სერიის მინების დაკრისტალებით გამოწვეული თვისებათა (სიმკვრივე, ხსნადობა ორ განსხვავებული ბუნების სატესტო რეაგენტში) ცვლილება წარმოდგენილია მე-16 ნახაზზე, ხოლო იდენტური ხასიათის მასალათა, მაგრამ CMB-სერიის მინებთან მიმართებაში მე-17 ნახაზზე. ორივე ნახაზზე წარმოდგენილი მახასიათებელ თვისებათა ცვლა უკავშირდება მინების მაღალტემპერატურული დაკრისტალებით ($750\text{ }^{\circ}\text{C}$, დაყოვნება 1 სთ) გამოწვეულ მინის გადასვლას მინაკრისტალურ (კომპოზიტი) მასალაში:

- სიმკვრივეთა ფარდობითი ზრდა ($+\Delta d, \%$);
- წონის ფარდობით დანაკარგებს სატესტო რეაგენტებში ($-\Delta m, \%$).

ორივე (მე-16 და მე-17) ნახაზზე წარმოდგენილი მრუდები გვიჩვენებს, რომ სიმკვრივეს და სატესტო რეაგენტებში ხსნადობა ძირითადად უკავშირდება მინის შედგენილობას. მინის შედგენილობა, თავის მხრივ განსაზღვრავს დაკრისტალებული ფაზების შედგენილობას (სახეობას) და მათი არსებობის შესაძლებლობას. კერძოდ, ZMB - სერიის შემთხვევაში: ZMB-1 (10 მოლ.% ZnO, 40 მოლ. % MnO და 50 მოლ. % B₂O₃) შედგენილობიდან ZMB-3 შედგენილობაზე (40 მოლ.% ZnO, 10 მოლ. % MnO და 50 მოლ. % B₂O₃) იქმნება პირობები იმისათვის, რომ : ZnB₂O₄ და MnB₂O₄ კრისტალური ფაზების თანაობისას, ZMB-1- დან ZMB-3-ზე გადასვლისას წამყვანი ფაზა ხდება თუთიის დიბორატი, ხოლო თანმხლები კი მანგანუმის დიბორატი.



ნახაზი 18. ZMB-2 და CMB-2 შედგენილობების კომპოზიტების ხსნადობის კინეტიკა 2%-ან ლიმონმჟავას ხსნარში

იგივე შეიძლება ითქვას CMB-სერიის მინების დაკრისტალებისას წარმოქმნილ პროდუქტებზე. ამ შემთხვევაში CMB-1 შედგენილობაში მოსალოდნელი ხდება MnB_2O_4 -ის წამყვან/ძირითად ფაზად ჩამოყალიბება, ხოლო თანმხლები ფაზად შეიძლება წარმოდგენილი იყოს CuB_2O_4 -ით. სხვა მდგომარეობა არის მოსალოდნელი CMB-3 შედგენილობის მინის კრისტალიზაციისას. აქ, ვინაიდან CMB-3 შედგენილობაში წარმოდგენილია 40 მოლ.% CuO და მხოლოდ 10 მოლ.% MnO , ძირითად ანუ კრისტალურ ფაზად გვევლინება CuB_2O_4 , ხოლო თანმხლებ ფაზად MnB_2O_4 . ე.ი ორივე სერიის (CMB და ZMB) მინების დაკრისტალებისას შესაძლებელი ძირითადად სამი კრისტალური ნაერთის წარმოქმნა:

- მანგანუმის დიბორატი (MnB_2O_4)-ორივე სერიის მინების შემთხვევაში;
- თუთიის დიბორატი (ZnB_2O_4) - ZMB მინების კრისტალიზაციისას;
- სპილენძის დიბორატი (CuB_2O_4) – CMB მინების დაკრისტალებისას.

რაც შეეხება ამორფულ შემდგენელს-ის ძირითადად მინისებრი (ამორფული) B_2O_3 -ით უნდა იყოს წარმოდგენილი.

აქვე უნდა ავღნიშნოთ, რომ ლიტერატურის წყაროებში ჩვენ მიერ ვერ იქნა მოპოვებული მანგანუმის თუთიის და სპილენძის დიბორატების ხსნადობა არა მართო ჩვენს მიერ შერჩეულ სატესტო რეაგენტებში, არამედ წყალში. ამავე დროს, ჩვენს მიერ ჩატარდა სპეციალური მიზნობრივი კვლევა CMB-2 და ZMB-2 შედგენილობის მინებთან მიმართებაში. ამისათვის აღნიშნული შედგენილობის მინები მიზნობრივად დაკრისტალდა (750 °C, 2სთ) და მათ ფხვნილებს ($d_{50}=2,0\text{მმ}$) ჩატარდა ტესტირება 2%-ან ლიმონმჟავაში. დაყოვნების მაქსიმალური დრო იყო 6 დღე. ორი კომპოზიტის ფხვნილების ცალკეული ულუფების ტესტურ რეაგენტში ხსნადობის პროცესის შესწავლით დადგინდა, რომ ლიმონმჟავას ხსნარში, შესწავლის მთელი პერიოდისთვის, ZMB-2 -თან შედარებით უკეთესი ხსნადობით გამოირჩევა CMB-2 შედგენილობა. 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 მარილის პროლონგური ხსნადობის მაჩვენებელია- 8 დღეში დანაკარგები არ აღემატებოდა 15%-ს.

დასკვნა

1. ოთხი ესენციალური მიკროელემენტის (Zn, Cu, Mn, B) შემცველი და პროლონგური ქმედების მიკროსასუქების მიღების მიზნით, ორ სამკომპონენტო ZnO-MnO-B₂O₃ და CuO-MnO-B₂O₃ სისტემაში განხორციელდა მინების სინთეზი 1050-1100°C-ზე
2. შესწავლილ იქნა CuO და ZnO შემცველი ბორმანგანუმიანი მინის კაზიმებში 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 ხსნალობაზე 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 ხსნალობას, 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 მიკროელემენტშემცველი 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 დაკრისტალება $600-900^{\circ}C$ ტემპერატურულ ინტერვალში. დადგინდა თერმული დამუშავების ოპტიმალური პარამეტრები ($750-800^{\circ}C$; 1-2 სთ, რომლებიც უზრუნველყოფენ საწყისი მინების მოცულობით დაკრისტალებას 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 ლობა-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.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Анспок П.И Микроудобрения: справочник 2-е изд. Л.: Агропромиздат, 1990.
2. Балашов Л.Л Химизация сельского хозяйства. Научно-технической словарь-справочник. 2-е исправленное и дополненное издание. М.: Наука, 1968
3. Булыгин С.Ю Микроэлементы в сельском хозяйстве. Изд. 3-е, Днепропетровск, 2007
4. Каталымов М. В. Микроэлементы и Микроудобрения. М.: "Химия" , 1965
5. dolagro. ru/press-office/artikles/. Комплексные микроудобрения для повышения урожайности
6. pesticide.ru/group-fertilizers/mikrofertilizert. микроудобрения
7. Kubsan. ru/upload/ibloch/a8b88374080326goa-odaa0497fb5a3b8. Конспект лекции по дисциплине теоретическая агрохимия, Краснодар, 2015
8. Agrostory.com/info-centre/agromists/. Микроудобрения: виды, особенности, роль в жизни растений
9. Вильдфлуш И.Р Кукреш С.П, Ионас В.А. Агрохимия. Минск : “Урожай,”2001
10. Берлянд А.,Ерцов Ю.,Книжник А. Биофизическая химия.Химия Биогенных элементов.М., Высшая школа,2007

11. Слесарев В.И Химия. основа химии живого СПб.,химиздат,2005
12. Петров Б.А., Силивестров Н.Ф Минеральное питание растений. Справочник пособие для студентов и огородников. Екатеринбург,1998
13. Коренков Д.А. Удобрения, их свойства и способы использования М.,Колос .1982
14. Медведев С.С Физиология растений: учебник СПб,2013
15. Месяц В.К. Сельскохозяйственный энциклопедический словарь.-М., Советская энциклопедия,1989
16. Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И.Агрохимия,-М., Колос,2002
17. Муравин Э.А. агрохимии.-М., колос,2003
18. Кобата—Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. Перевод с английского. –М ., Мир,1989
19. Москвичев Ю. А., Фельдблюм В. Ш. Химия в нашей жизни (продукты органического синтеза и их применение.) Монография- Ярославль. Изд- во ЯГТУ , 2007.
20. Битюцкий Н.П. Микроэлементы и растениям.СПБ. издательство университета,1999
21. Peptici.ru/group.fertilizers/mikrofertlizers. Почвенный биофунгицид. Микроудобрения
22. Кудин В.В Система удобрения,-М., издательство РГАУ-МСКА им.Тимирязева,2012
23. Вильдфлуш И.Р Кукреш С.П, Ионас В.А. Агрохимия. Изд. 2-е Минск : “Урожай”, 2001
24. Ковальский В.В Геохимическая экология ,-М.,Наука,1984
25. Покатилов Ю.Г. Биогеология биоферм и медико-биологические проблемы . Новосибирск. Наука,1993
26. Bunt A.C. Mikroelements. In: Media and Mixes for Container plant.springer. Dordrecht.1988

27. Школьник М.Я. Современное состояние вопроса о физической роли микроэлементов у растений. Издание 3-е БГУ, 2009
28. Вилли К. Биология, Перевод с английского изд., "Мир", 1966
29. Подколзина В.А. Медицинская микробиология. Конспект лекции Изд., Научная "книга"
30. Ченцов Ю.С. Введение в клеточную биологию. Изд. 4-е. М.: ИКЦ "Академия", 2004
31. Рустамбекова С.А., Барабашкина Т.А. Микроэлементы и факторы экологического риска. М., Логос, 2006
32. Голдовская Л.Ф., Химия окружающей среды. М., "Мир". 2005
33. Скальный А.В., Рудаков И.А., Биоэлементы в медицине. М., изд. дом «ОНИКС 21 век»: Мир, 2004
34. Зеленин К.Н. Химия. Учебник для медицинских вузов. СПб "Специальная литература". 1997
35. Минаев В.Г. Агрохимия, Учебник. 2-е издание. М., изд. МГУ изд. Колос, 2004
36. Дербенцова А.М. Агрохимия. Курс лекций Владивосток. Изд. Дальневост. Университета, 2006
37. Каликински А.А., Вильдфлуш И.Р., Ионас В.А., Изд. Агрохимия в вопросах и ответах. Минск: "Урожай", 1991
38. <https://sites.google.com/site/nanomiks/-1>. Обзор рынка микроудобрений.
39. <http://www.agromage.com/> Микроудобрения, виды, составы, нормы внесения.
40. [Lepestok. Kharkov.ua/fertilizer/s20110601hfm](http://Lepestok.kharkov.ua/fertilizer/s20110601hfm) Микроудобрения, виды, составы, нормы внесения.
41. Кудрин В.В. Органические удобрения. Изд. РГАУ-МСХА Им. К.А. Тимирязева, 2012
42. <http://www.ntcp.ru>. Net technologies of chemical production.

43. Власюк П.А. Биологические элементы в жизнедеятельности растений. Киев. , "Наукова думка", 2005
44. Емцов В. Т, Мищустин Е. Н. Микробиология, Изд. 5-е. М., Изд. "Дрофа", 2005
45. <http://agronews.ge/> მცენარეთა კვება და მოსავლიანობა.
46. სიდამონიძე შ., სუპატაშვილი გ., ადამია ს., ქიმიის მოკლე ცნობარი. თბილისი, განათლება, 1976
47. Краткий справочник химика /Под ред. Б.В. Некрасова/ Изд. 3-е. М., Изд. Хим.лит., 1954
48. Пейве Я. В. Проблемы применения микроэлементов в сельском хозяйстве. М., "Колос",1956
49. პეივე ი.ვ. მიკროელემენტები და მათი მნიშვნელობა სოფლის მეურნეობაში. თბ.,საბჭ.საქ., 1962
50. Сакуашвили Л. Д. Саруханишвили А. В. Гвасалия Л. И. О возможности использования шлама производства электролитического марганца в качестве Микроудобрения. Georg. Engin. News.N2.2002
51. საქუაშვილი ლ., გვასალია ლ., ალადაშვილი ქ. მანგანუმიანი შლამების გამოყენება მიკროსასუქებად, საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, N4, 2004
52. [Agriculture-dictionari.academic. ru/5138](http://Agriculture-dictionari.academic.ru/5138) Фритты.
53. Cnshb.ru/AKDIL/0024/base/RF/00130.shtm/Фритты
54. Микроудобрения. Труды НИУИФ/Под Ред. проф. М. В. Каталымова. М., Изд. " Колос",1965
55. Азаров К. П., Жданов Ю. А., Применение стекол и фритт для удобрения почв микроэлементами. Труды Новочерк. Полит. института. N47(61),1958
56. Ринке Р.С. Эффективность промышленных отходов и стекловидных удобрений, содержащих Микроэлементы. Рига,Труды института биологии АН Латвии. ТД,1958

57. Азаров К. Л., Жданов Ю. А., Скалозубов М. В. Многолетние Минеральные удобрения. М., Природа, N10, 1957
58. Синякова С. И. Определение бора в почвах, растительных и животных организмах. Сб. методом определения микроэлементов. М., Изд. АН СССР, 1950
59. ზაქარაია მ., მშვილდაძე მ., ჭეიშვილი თ., პროლონგური ქმედების მიკროსასუქების მიღება სისტემურ კომპოზიციაში და მათი გამოყენების ეკოლოგიურობა. ვერისთავის 80 წლისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო საიუბილეო სამეცნიერო - ტექნოლოგიური კონფერენცია „გრემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება“, სტუ-ს შრომები, თბ. 2019
60. ზაქარაია მ., მშვილდაძე მ., ჭეიშვილი თ., პროლონგური ქმედების მიკროსასუქების მიღება თუთიისა და სპილენძის ბორმანგანუმთან სისტემურ კომპოზიციებში და მათი შესწავლა. საერთაშორისო სამეცნიერო - ტექნოლოგიური კონფერენცია „გრემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება“, სტუ-ს შრომები, თბ. 2020
61. ზაქარაია მ., მშვილდაძე მ., ჭეიშვილი თ., რიგ მიკროელემენტუმცვენ მოდელურ კომპოზიტებში ფუნქციური დანიშნულების მინამასალების მიღება. „კერამიკა და მოწინავე ტექნოლოგიები“ ტ.22, N2 (44), 2020
62. ზაქარაია მ., მშვილდაძე მ., ჭეიშვილი თ., ZnO (CuO) – MnO – B₂O₃ სისტემებში მიღებული მინამასალების ტესტურ რეაგენტებში ხსნადობის პროცესის შესწავლა. „კერამიკა და მოწინავე ტექნოლოგიები“ ტ.22, N2 (44), 2020
63. Саркисов П. Д., Агарков А. С. Технический анализ и контроль производства стекла и изделий из него. М., Стройиздат, 1976
64. Шишкина Н. И., Сахарова Я. Г. Анализ в этапировочном производстве. М., Металлургия, 1974

65. Павлушкин Н. М., Сентюрин Г. К., Ходаковская Р. Я. Практикум по технологии стекла и металлов. М., Стройиздат,1970
66. Воскресенский ПН Техника лабораторных работю М; Химия, 1973
67. Ботвинкин О. К., Клюковский Г. И., Манулова А. А. Лабораторный практикум по общей технологии силикатов. М., Стройиздат,1966
68. Годевская К. М., Рябина Л. В., Новик Г. Ю., Гернер М. М., М., Вмещ.щк., 1989.
69. Технология стекла // под Ред. Павлушкина Н. М., М., Стройиздат,1983.
70. გადაძე თ., ჭეიშვილი თ.,ლოლაძე გ. სილიკატების ზოგადი ტექნოლოგია. თბ., სტუ.,2019
71. Лукин Е. С., Андрианов. Н. Т., Технический анализ и контроль производства керамики. М., Стройиздат,1975
72. Книгина Г. И., Верещагина Э. Н., Тацкий Л. Н., Лабораторные работы по технологии строительной. керамики и искусственных пористых заполнителей. Изд. 2-е. доп. М., Высшая школа. 1977.
73. ჭეიშვილი თ. მინის, მინანქრის და მინაკრისტალური მინების ტექნოლოგია. ლექციათა კურსი. თბ., სტუ. 2020
74. Павлушкин Н. М., Основы технологии ситаллов, М., Стройиздат,1979
75. Саркисов П. Д., Направленная кристаллизация стекла-основа получения многофункциональный стеклокристаллических материалов. М., Изд. МХТИ им. Д. И. Менделеева.1997
76. ჭეიშვილი თ., ქუთათელაძე ნ. მეთოდური მითითებანი ლაბორატორიული სამუშაოების ჩასატარებლად სიტალების ტექნოლოგიაში. თბ., სპი.,1983
77. ჭეიშვილი თ., ლოლაძე გ., სულაძე ი. ლაბორატორიული სამუშაოები სილიკატების ზოგად ტექნოლოგიაში. თბ.,სტუ, 2020
78. Лурье Ю. Ю., Справочник по аналитической химии. Л., Химия,1872
79. Сусленникова В. М., Киселева Е. М., Руководство по приготовлению титрованных растворов. Л., Химия,1973

80. Ляликов Ю. С., Физико-химические методы анализа. М., Химия,1974
81. Стекло. Справочник / под Ред. Н. М. Павлушкина М., Стройиздат,1983
82. Коцик И. Небоженский И., Фандорлик н. Окрашивание стекла. М.,
Стройиздат,1983
83. Кутолин С. А., Нейч А. И. Физическая химия цветного стекла. М.,
Стройиздат,1988
84. Weyl N. A. The theories of colour in glasses are related to their structure
and constitution. Fighth reorint. N-Y, London,1999
85. მაჩალაძე თ. თერმული ანალიზი. თბ., სტუ,2006
86. Федоров Н.Ф. , Туник Т.А. Лабораторный практикум по физической
химии силикатов.Л.,изд. ЛГУ,1987
87. Горшков В. С., Тимашев В. В., Совельев В. Г. Методы физико-
химического анализа вяжущих веществ. М., Высш. шк.1981
88. Ковба Л. М. Трунов В. К. Рендгенофазовый анализ. М., изд. МГУ,1969
89. Зевин Л. С. Хейкер Ю. М. Рендгеновские методы исследования
строительных материалов. М., Стройиздат,1965
90. Толкагев С. С. Таблица межплоскостных расстояний. Л., Химия, 1968
91. Буллах А. Г. Руководство и таблица для расчета формул минералов. М.,
Недра,1967
92. Михеев М. Н. Рендгенометрический определить минералов. М.,
Госгеотехиздат,1957
93. КаталогASTM (1982). R/mbvoc:10,11,22,23,25,27 изд.
94. Кондратьева В. В. Рендгенометрический определить боратов. Л. ,
Наука,1969
95. Варгин В. В. Этапирование металлических изделий. изд. 2-е. Л.,
Машиностроение,1972
96. გორდელაძე ვ. სარუხანაშვილი ა. მინანქარი და მინანქრების
ტექნოლოგია. თბ. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“,2004

97. <https://www.zerno-ua.com/journals/2012/yanvar-2012-god/helatnyr-dobreniyaiih-perspektivy>
98. http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/681.html?fbclid=IwAR2tW-TXLd27YcdEr-qO4CfowEJyMvJDFHWY6wXT4WOsE_czaqc8eMN7B3I
99. <https://www.cmd-online.ru/vracham/spravochnik-vracha/mikroelementy-obshchaya-informatsiya/?fbclid=IwAR2IbjMDaE6WV2EyUpD0DDDDv4uQjWcGMQgMD03fCL5dH04lsOgyJ-pxzttM>
100. <https://www.cmd-online.ru/vracham/spravochnik-vracha/mikroelementy-obshchaya-informatsiya/?fbclid=IwAR2IbjMDaE6WV2EyUpD0DDDDv4uQjWcGMQgMD03fCL5dH04lsOgyJ-pxzttM>
101. Кузнецова М. Г. Исследование физико-химических свойств стекол в системах. RO-MnO-SiO₂ и RO-MnO-B₂O₃ и разработка на их основе практических электроизоляционных составов. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. Л., ЛТИ,1972
102. ჭეიშვილი თ. სამკომპონენტის მინები d-ელემენტების შემცველობით. ავტორეფერატი ქიმ.მეც.დოქტ.სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად., თბ., სტუ,2003
103. Саруханишвили А. В. Многомарганцевые боратные и силикатные стекла. Об. изд. ТГУ,1989
104. Аннен А. А. Химия стекла. Л. Химия, 1973
105. Дембревский С. А. , Чечёткина Е. А. Стекло образование. М., Наука,1990
106. Шульц М. М., Мазурин О. В. Современные представления о строении стекол и их свойствах. Л., Наука,1988
107. Роусон Г. Неорганические стеклообразующие системы. М., Мир,1981

108. Справочник химика. Т.2 Основные свойства неорганических и органических соединений. М. Л., Химия,1865
109. Рабинович А., Хавин З. Краткий химический справочник. Л. Химия,1978
110. Рипан Р. Нетяну И. Неорганическая химия,Т. Г. М., Мир,1997
111. Саруханишвили А. В., Кутателадзе Н. К. Стекло образование в системах ZnO-MnO-B₂O₃ и SiO-MnO- B₂O₃. Сообщ.АН ГССР, Т.82 . N1,1976
112. Мазурин О. В. Стрельцина Т. П. Щвайко-щвайковская Т. П. Свойства стекол и стеклообразующих расплавов, справочник. Т. III , ч. 2. Трёх компонентные несиликатные окисные системы. Л., Наука,1979
113. Мцвилдадзе М. Д., Чеишвили Т. Ш. Воздействие водного раствора серной кислоты на стекла системы RO-MnO-B₂O₃., Georg.Eng. News N2,2004
114. Мцвилдадзе М. Д., Чеишвили Т. Ш. Стекло образующая способность и свойства стекол литийсодержащей Хуцианидзе М. Г. Мцвилдадзе М. Д. , Чеишвили Т. Ш. Разработка водорастворимых материалов на основе марганцевого шпата. Georg.Eng. News N4, 2007
115. Чеишвили Т. Ш. Хуцианидзе М. Г. Изучение фазового состава и растворимости марганцоводержащих шламаов. Химический журнал Грузии. Т.7 N4,2007
116. ჭეიშვილი თ., შავლაყაძე მ. მანგანუმშემცველი სულფატური შლამების და ამონიუმის ნიტრატის საფუძველზე მიღებული მასალების შესწავლა. სტუ-ს შრომები, N2(476), 2020
117. Шавлакадзе М. Л. Чеишвили Т. Ш. Изучение оптимальных условий синтеза некоторых водорастворимых марганец содержащих материалов. Химический журнал Грузии, Т.10 N3,2010
118. ჭეიშვილი მარგანცოსილიკატური სისტემის. Химия. Журнал Грузия. Т. 5 N2,2005

119. ჭეიშვილი თ, ხუციანიძე მ. მანგანუმშემცველი წილების და მადნების წყალში ხსნადობის აქტივაციის შესაძლებლობის შესწავლა. საერთ. სამეცნ. კონფ. „თანამედროვე ტექნოლოგიები და მასალები“. შრომები. ქუთაისი,2008
120. ჭეიშვილი თ, ხუციანიძე მ., შავლაყაძე მ. რიგი მანგანუმშემცველი მასალებისათვის განმსაზღვრელი თვისებების და წყალხსნადობის პროცესის შესწავლა. „კერამიკა“, N1(22),2010
121. Shavlakadze M., Cheishvili T. Synthesis of special materials on the basis of manganese bearing raw materials and investigation of some their properties. First international conference for students and young scientists on materials processing science. programme and book of manuscripts. Tbilisi, 2010
122. Shavlakadze M., Cheishvili T. Study of soluble processes and determining properties of new composition manganese containing materials usable as micro fertilizers. International Conference on environmental science and technology. Digital proceeding. Turkey, Cappadocia, 2013
123. Хуцианидзе М. Г. Мшвилдадзе М. Д. Чеишвили Т. Ш. Изучение продуктов взаимодействия оксидов марганца и лимонной кислоты. Химический журнал Грузии. Т.6 N2,2006
124. Матвеев М. А., Матвеев Г. М., Френкель Б. Н. Расчеты по химии и технологии стекла, справочное пособие. М., Стройиздат,1972

