

ISSN 1512-0325

საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის ჟურნალი
JOURNAL OF THE GEORGIAN CERAMISTS' ASSOCIATION



kerami ka **CERAMICS**

და მოწინავე
ტექნოლოგიები

**AND ADVANCED
TECHNOLOGIES**

სამეცნიერო-ტექნიკური და საარმოო ილუსტრაციები,
რეგისტრაციები, რეფერირებადი ჟურნალი

Vol. 23. 2(46).2021

სარედაქციო კოლეგია:

მ. ბალახაშვილი, მ. ბიბილაშვილი, გ. გაფრინდაშვილი (მთ. რედ. მოადგილე), ნ. გელოვანი, ლ. გვასალია, ნ. დარახველიძე, დ. ერისთავი, ლ. თოფურია, რ. თურმანიძე, მ. კეკელიძე, ზ. კოვზირიძე (მთ. რედაქტორი), ნ. კუციავა, ნ. ლოლაძე, მ. მაისურაძე, ნ. მარგიანი, ზ. მესტიერიშვილი, გ. მუმლაძე, მ. მუჯირი, ნ. მჭედლიშვილი, ნ. ნიჟარაძე (პასუხისმგებელი მდივანი), დ. ნოზაძე, გ. ტაბატაძე, რ. ქაცარავა, ვ. ქინკლაძე, ე. შაფაქიძე, ჯ. შენგელია, მ. ცინცაძე, რ. ხუროძე, თ. ჭეიშვილი, მ. ხუციშვილი

EDITORIAL BOARD:

M. Balakhashvili, M. Bibilashvili, T. Cheishvili, N. Darakhvelidze, D. Eristavi, G. Gaprindashvili (vice-editor-in-chief), **N. Gelovani, L. Gvasalia, R. Katsarava, M. Kekelidze, V. Khinqladze, R. Khurodze, M. Khutsishvili, Z. Kovziridze** (editor-in-chief), **N. Kuciava, N. Loladze, M. Maisuradze, N. Margiani, N. Mchedlishvili, Z. Mestvirishvili, G. Mumladze, M. Mujiri, N. Nizharadze** (executive secretary), **D. Nozadze, E. Shapacidze, J. Shengelia, G. Tabatadze, L. Topuria, M. Tsintsadze, R. Turmanidze**

შურნალში „კერამიკა და მოჭინავი ტექნოლოგიები“ გამოქვეყნებული სტატიების ძირითადი თემატიკა

ყველა სახის მიწის, კერამიკის, კერამიკული და პოლიმერული კომპოზიტების, ზედაპირული მასალების, ტიქსურის და მიწანქარის, სხვადასხვა მინერალური ბაზის, მჭიდვ მასალების, ცემენტის და სხვა არაორგანული, კომპლექსური, ახალი და ტრადიციული მასალების სფეროში ჩატარებული სამეცნიერო კვლევები, მათი მიღების ტექნიკა და ტექნოლოგია, ნაწარმების ტექნოლოგია და ნაწარმების პოლიმერული ბიომასალები ბიომედიცინის, ორგანულ ნივთიერებათა ტექნოლოგია, მშენებლობის მასალათმცოდნეობა, კომპოზიციური მასალები და დანაწარმები არაორგანული და ორგანული ნივთიერების ნაწარმებისა და კომპოზიტების მიღების ელექტროქიმიური ტექნოლოგიები, თერმოქიმიკა, კინეტიკა და კატალიზი

შურნალში აგრეთვე შესაძლებელია განთავსდეს სტატიები შემდეგ საკითხებზე:

- ✓ ახალი ტექნიკა, მონოპოლიზაცია საწარმოთა და წარმოების ტექნიკური გადართობა.
- ✓ სანედლეულო ბაზის განვითარება, ნედლეულის რაციონალური გამოყენება, მათ შორის ადგილობრივი წარმოების წარჩენის.
- ✓ რესურს- და ენერგოდამზოგველი ტექნოლოგიები. გარემოს დაცვა.
- ✓ საწარმოთა სამეურნეო მოღვაწეობა საბაზრო პირობებში, ეკონომიკა, მარკეტინგი.
- ✓ საქარბო გამოცდილება.
- ✓ ინფორმაცია, რეკლამა.

გამოქვეყნების სფეროები

- ენერგეტიკა
- მშენებლობა
- სახალხო მოხმარების საგნები
- ქიმია და ქიმიური ტექნოლოგია
- მასალათმცოდნეობა
- მეტალურგია
- ელექტრონიკა და ელექტროტექნიკა
- მედიცინა
- ოპტიკა
- სხვა სფეროები
- გარემოს დაცვა
- ეკონომიკა

[http:// www.ceramics.gtu.ge](http://www.ceramics.gtu.ge)

უაკ 666.762.93

სასმელი წყლის გაწმენდა Mn^{2+} და რკინის იონებისაგან წყლის აერაციის პირობებში

გ. გალოგრე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველო, 0160, თბილისი, კოსტავას 69

E-mail: guramigalogre@gmail.com

მიზანი. Mn^{2+} და რკინის იონებისაგან სასმელი წყლის გაწმენდის პროცესში მფილტრავი მასალის Fe^{3+} იონების შემცველი MnO_2 -ით მოდიფიცირებული ცეოლიტის ეფექტიანობის გაზრდა წყლის აერაციის გზით.

მეთოდი. გაწმენდილ წყალში Mn^{2+} და რკინის იონების კონცენტრაცია განსაზღვრულია ინდუქციურად ბმული პლაზმის ოპტიკური ემისიური სპექტრომეტრით (ICP-OES).

შედეგი. სასმელი წყლის აერაცია ზრდის მფილტრავი მასალის Fe^{3+} იონების შემცველი MnO_2 -ით მოდიფიცირებული ცეოლიტის ეფექტიანობას Mn^{2+} და რკინის იონებისაგან სასმელი წყლის გაწმენდის პროცესში. მფილტრავი მასალის კუთრი ტევადობა, შესაბამისად, 1,16 და 1.14-ჯერ იზრდება.

დასკვნა. მფილტრავი მასალა Fe^{3+} იონების შემცველი MnO_2 -ით მოდიფიცირებული ცეოლიტი სასმელი წყლის გაწმენდის პროცესში მოქმედებს, როგორც კატალიზატორი და აჩქარებს სასმელი წყლის მინარეგების (Mn^{2+} და Fe^{2+} იონები) დაჟანგვას უხსნად ნაერთებამდე. მფილტრავი მასალის კატალიზური მოქმედების ეფექტი იზრდება წყლის აერაციის პირობებში.

საკვანძო სიტყვები: მოდიფიცირებული ცეოლიტი; მანგანუმის დიოქსიდი; წყლის გაწმენდა; წყლის აერაცია; კატალიზატორი.

1. შესავალი

სამუშაოში [1] განხილულია Mn^{2+} და რკინის იონებისაგან (Fe^{2+} და Fe^{3+}) სასმელი წყლის გაწმენდასათვის ახალი მფილტრავი მასალის Fe^{3+} იონების შემცველი მოდიფიცირებული ცეოლიტის მიღების

ხერხი. გაზრდილი ქიმიური მდგრადობის MnO_2 -ის შემცველი მფილტრავი მასალის ეფექტიანობის დასახასიათებლად გამოყენებულია სიდიდე – მფილტრავი მასალის კუთრი ტევადობა, რომელიც გვიჩვენებს ცეოლიტის ზედაპირზე დაფენილი MnO_2 -ის ერთეული მასის (MnO_2 ცეოლიტი) მიერ ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციამდე გაწმენდილი სასმელი წყლიდან ამოღებული Mn^{2+} და რკინის იონების მასას ($Mn^{2+}_{წყ.}$ და $Fe^{2+}_{წყ.}$). ახალი მფილტრავი მასალის გამოყენებისას ეს სიდიდე ანუ შეფარდება

$$\frac{Mn^{2+} (წყ.)}{MnO_2 (ცეოლიტი)} \text{ და } \frac{Fe^{2+} (წყ.)}{MnO_2 (ცეოლიტი)},$$

შესაბამისად, 0,312 და 1.121 შეადგენს. ახალი მფილტრავი მასალის კუთრი ტევადობა Mn^{2+} იონებისაგან წყლის გაწმენდის პროცესში 1,9-ჯერ აღემატება უცხოური მფილტრავი მასალის [2,3] ანალოგიურ სიდიდეს. ასევე მაღალია მფილტრავი მასალის კუთრი ტევადობა რკინის იონებისაგან წყლის გაწმენდის პროცესში და, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, ამ დროს წყალი არ ბინძურდება Mn^{2+} იონებით. ამრიგად, ახალი მფილტრავი მასალა Fe^{3+} იონების შემცველი MnO_2 -ით მოდიფიცირებული ცეოლიტი Mn^{2+} და რკინის იონებისაგან (Fe^{2+} და Fe^{3+}) სასმელი წყლის გაწმენდის პროცესში მაღალი ეფექტიანობით ხასიათდება.

ექსპერიმენტული შედეგი, რომლის თანახმად Mn^{2+} და რკინის იონებისაგან გაწმენდის პროცესში სასმელი წყალი არ ჭუჭყიანდება Mn^{2+} იონებით, მიუთითებს იმაზე, რომ ახალი მფილტრავი მასალა მოქმედებს როგორც კატალიზატორი. ჟანგვა-აღდგენითი პროცესის წარმართვის შემთხვევაში წყალში გადავიდა MnO_2 -ის აღდგენის პროდუქტი – Mn^{2+} იონები. შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ გასაწმენდი წყლის აერაცია მნიშვნელოვნად გააუმჯობესებს ახალი მფილტრავი მასალის, როგორც კატალიზა-

ტორის, ეფექტიანობას სასმელი წყლის გაწმენდის პროცესში. მოცემული სამუშაოს მიზანია ამ მოსაზრების ექსპერიმენტულად დადასტურება.

2. ძირითადი ნაწილი

2.1. ექსპერიმენტის მეთოდი

ექსპერიმენტის მეთოდი და მასალები აღწერილია სამუშაოში [1]. ერთადერთი განსხვავება ისაა, რომ გაწმენდის პროცესში მინის კოლონას, სადაც ჩაყრილი იყო მფილტრავი მასალის გრანულები და გაედინებოდა გასაწმენდი წყალი, კომპრესორიდან ბარბოტაჟით ჰაერი მიეწოდებოდა.

2.2. ექსპერიმენტის შედეგები

Fe³⁺ იონების შემცველი MnO₂-ით მოდიფიცირებული ცეოლიტი გამოიცადა დინამიკურ პირობებში Mn²⁺ და რკინის იონებისაგან (Fe²⁺ და Fe³⁺)

სასმელი წყლის გაწმენდის პროცესში. 58,3გ მფილტრავი მასალა (დაახლოებით 70სმ³), რომელშიც MnO₂-ისა და Fe³⁺ იონების მასური წილი შესაბამისად 0,43 და 0.03%-ს შეადგენს, მოთავსდა სვეტში, რომლის დიამეტრი 12 მმ-ია, სიმაღლე – 620 მმ, სასმელი წყლის სიხისტე – 2,9 მგ.ეკვ/ლ, pH-6,7, წყლის ფილტრაციის საშუალო მოცულობითი სიჩქარე – 0,53 ლ/სთ, საშუალო ხაზოვანი სიჩქარე – 4,3 მ/სთ. მოდელური გასაწმენდი წყლის ნიმუშები მომზადდა, შესაბამისად, MnSO₄ -ისა და FeSO₄ -ის ხსნარების საფუძველზე. გასაწმენდ სასმელ წყალში Mn²⁺ და Fe²⁺ იონების საწყისი კონცენტრაცია, შესაბამისად, 3,1 და 8.5 მგ/ლ შეადგენდა. სასმელი წყლის გაწმენდის კოლონას კომპრესორიდან მუდმივად მიეწოდებოდა ჰაერი. კვლევის შედეგები მოცემულია 1-ელ და მე-2 ცხრილებში.

ცხრილი 1

Fe³⁺ იონების შემცველი MnO₂-ით მოდიფიცირებული ცეოლიტით Mn²⁺ იონებისაგან წყლის გაწმენდის პროცესის კვლევის შედეგები

მოდელურ გასაწმენდ წყალში Mn²⁺ იონების საწყისი კონცენტრაცია 3,1 მგ/ლ. ცდის პირობები იხილეთ ტექსტში.

№	ფილტრაციის ხანგრძლივობა, სთ	გატარებული წყლის მოცულობა, ლ	Mn ²⁺ იონების კონცენტრაცია წყალში, მგ/ლ
1.	0,5	0,27	არ განისაზღვრა
2.	5,5	2,9	არ განისაზღვრა
3.	9,0	4,8	არ განისაზღვრა
4.	22,5	12,0	არ განისაზღვრა
5.	27,0	14,3	არ განისაზღვრა
6.	32,0	17,0	არ განისაზღვრა
7.	40,5	21,5	0,02
8.	53,0	28,1	0,03
9.	55,0	29,2	0,05
10.	57,0	30,5	0,06
11.	65,50	34,8	0,15
12.	71,0	37,6	0,22

დადგინდა, რომ შემოთავაზებული ხერხით მიღებული Fe³⁺ იონების შემცველი MnO₂-ით მოდიფიცირებული 70 სმ³ (58,3გ) ცეოლიტით, რომელშიც MnO₂-ისა და Fe³⁺ იონების მასური წილი, შესაბამისად, 0,43 და 0.03%-ს შეადგენს, ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციამდე (≤0,05 მგ/ლ, [4]) გაიწმინდა 3,1 მგ/ლ Mn²⁺ იონებით დაბინძურებული 29,2 ლ სასმელი წყალი. ამრიგად, ახალი მფილტრავი მასალის

მისად, 0,43 და 0.03%-ს შეადგენს, ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციამდე (≤0,05 მგ/ლ, [4]) გაიწმინდა 3,1 მგ/ლ Mn²⁺ იონებით დაბინძურებული 29,2 ლ სასმელი წყალი. ამრიგად, ახალი მფილტრავი მასალის

კუთრი ტევადობა $\frac{Mn^{2+} (წყ.)}{MnO_2 (ცეოლიტი)} = 0,361$, რაც

1,16-ჯერ აღემატება აერაციის გარეშე ჩატარებული ცდის შედეგს [1].

ცხრილი 2

Fe³⁺ იონების შემცველი MnO₂-ით მოდიფიცირებული ცეოლიტით რკინის იონებისაგან სასმელი წყლის გაწმენდის პროცესის კვლევის შედეგები

რკინის იონების ჯამური საწყისი კონცენტრაცია გასაწმენდ მოდელოურ წყალში 8.5 მგ/ლ. ცდის პირობები იხილეთ ტექსტში.

	ფილტრაციის ხანგრძლივობა, სთ	გატარებული წყლის მოცულობა, ლ	რკინის იონების კონცენტრაცია წყალში, მგ/ლ	Mn ²⁺ იონების კონცენტრაცია წყალში, მგ/ლ
1	0.5	0.27	არ აღმოჩნდა	არ განისაზღვრა
2	6.0	3.2	არ აღმოჩნდა	არ განისაზღვრა
3	9.5	5.1	0.03	არ განისაზღვრა
4	23.5	12.5	0.03	არ განისაზღვრა
5	27.0	14.3	0.04	არ განისაზღვრა
6	33.0	17.5	0.03	არ განისაზღვრა
7	44.0	23.3	0.05	არ განისაზღვრა
8	51.0	27.0	0.10	არ განისაზღვრა
9	55.0	29.2	0.14	არ განისაზღვრა
10	61.5	32.6	0.18	არ განისაზღვრა
11	66.0	35.0	0.20	არ განისაზღვრა
12	71.0	37.6	0.20	არ განისაზღვრა
13	72.0	38.2	0.21	0.02
14	76.0	40.3	0.35	0.02
15	78.0	41.3	0.69	0.02

მე-2 ცხრილის მონაცემებით, შემოთავაზებული ხერხით მიღებული Fe³⁺ იონების შემცველი MnO₂ მოდიფიცირებული 70სმ³ (58,3 გ) ცეოლიტით, რომელშიც MnO₂-ისა და Fe³⁺ იონების მასიური წილი შესაბამისად 0,43 და 0.03%-ს შეადგენს, ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციამდე (≤0,20 მგ/ლ, [4]) გაიწმინდა 8.5მგ/ლ რკინის იონებით დაბინძურებული 37.6 ლ სასმელი წყალი. ამრიგად, მფილტრავი მასალის კუთრი ტევადობა რკინის იონებისაგან წყლის გაწმენდის პროცესში

$\frac{Fe^{2+} (წყ.)}{MnO_2 (ცეოლიტი)} = 1.121$, რაც 1,14-ჯერ აღემატება

აერაციის გარეშე ჩატარებული ცდის შედეგს [1].

2.3. შედეგების განსჯა

სასმელი წყლის აერაცია ზრდის მფილტრავი მასალის Fe³⁺ იონების შემცველი MnO₂-ით მოდიფიცირებული ცეოლიტის ეფექტიანობას Mn²⁺ და რკინის იონებისაგან სასმელი წყლის გაწმენდის პროცესში. მფილტრავი მასალის კუთრი ტევადობა, შესაბამისად, 1,16 და 1,14-ჯერ იზრდება.

ექსპერიმენტის შედეგი ადასტურებს მფილტრავი მასალის კატალიზურ ეფექტზე სამუშაოში [1] გამოთქმულ მოსაზრებას. Mn²⁺ და Fe²⁺ იონების დაჟანგვის პროცესში მონაწილეობს შუალედური კომპლექსი MnO₂ · O₂, რომელიც წარმოიქმნება წყალში გახსნილი ჟანგბადის MnO₂-თან ურთიერთქმედების

შედეგად. შუალედურ კომპლექსში O=O ზმის გაწყვეტით მიღებული ატომური ჟანგბადი წყალში არსებული Mn²⁺ და Fe²⁺ იონების უშუალო დამჟანგავია.

3. დასკვნა

მფილტრავი მასალა Fe³⁺ იონების შემცველი MnO₂-ით მოდიფიცირებული ცეოლიტი წყლის გაწმენდის პროცესში მოქმედებს, როგორც კატალიზატორი და აჩქარებს სასმელ წყლის მინარევების (Mn²⁺ და Fe²⁺ იონები) დაჟანგვას უხსნარ ნაერთებამდე. მფილტრავი მასალის კატალიზური მოქმედების ეფექტი იზრდება წყლის აერაციის პირობებში.

ლიტერატურა

1. ჯ. შენგელია, გ. გალოგრე. სასმელი წყლის გაწმენდისათვის მაღალი ქიმიური მდგრადობის

მანგანუმის დიოქსიდით მოდიფიცირებული ცეოლიტის მიღება და გამოცდა. საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის ჟურნალი „კერამიკა და მოწინავე ტექნოლოგიები“, ტ.23. 2(46), 2021. გვ. 82–93.

2. Патент Российской Федерации RU (2091158) С1. Способ получения фильтрующего материала для удаления ионов марганца из воды. Поляков В.Е., Остапенко В.Т., Полякова И.Г., Тарасевич Ю.И., Шовгай А.С., Кулищенко А.Е. 27.09.1975.
3. Ю.И. Тарасевич, В.Е.Поляков, З.Г. Иванова, Д.А. Крысенко. Получение и свойства клиноптилолита, модифицированного диоксидом марганца. Химия и технология воды, т.30,№2, 2008.
4. Водоподготовка. Справочник. Под редакцией С.Е.Беликова, М., Аква-Терм, 2007.

UDC 666.762.93

Removing Mn²⁺ and Iron Ions from Drinking Water by Water Aeration

G. Galogre

Georgian Technical University, Department of Chemical and Biological Technologies, Str Costava 69. 0160 Tbilisi. Georgia

E-mail: guramigalogre@gmail.com

Resume: Purpose. Improving the efficiency of filtration material -MnO₂-modified zeolite containing Fe³⁺ ions in the process of removing Mn²⁺ and iron ions from drinking water by water aeration.

Method. The concentrations of Mn²⁺ and iron ions in purified water are determined by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-OES).

Result. Drinking water aeration improves the efficiency of filtration material -MnO₂-modified zeolite containing Fe³⁺ ions in the process of removing Mn²⁺ and iron ions from drinking water. The specific capacity of the filtration material increases by 1.16 and 1.14 times, respectively.

Conclusion. The filtration material -MnO₂-modified zeolite containing Fe³⁺ ions, serves as a catalyst in the water purification process and accelerates the oxidation of drinking water contaminants (Mn²⁺ and Fe²⁺ ions) by converting them into insoluble compounds. The catalytic efficiency of the filtration material is improved by water aeration.

Keywords. Modified zeolite; manganese dioxide; water purification; water aeration; catalyst.

უაკ 666.762.93

კოროზიამედეგი კომპოზიციური დანაფარის (NiPAl₂O₃) ელექტროქიმიური სინთეზი

მ. დონაძე, მ. მშვილდაძე, შ. ზურაბიშვილი, ნ. მახალდიანი, ვ. თედიაშვილი

ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, კოსტავას 69

E-mail: m.donadze@gtu.ge

რეზიუმე: მიზანი. კვლევის მიზანია ანტიკოროზიული -NiP შენადნობისა და NiPAl₂O₃ კომპოზიციური მასალის ელექტროქიმიური სინთეზის მისაღები ელექტროლიტის ოპტიმალური შედგენილობის, მჟავიანობის, ასევე ოპტიმალური ელექტროქიმიური პარამეტრების დადგენა.

მეთოდი. ნიკელის, ნიკელფოსფორიანი შენადნობისა და კომპოზიციური მასალის მისაღებად გამოყენებულია დანაფარის მიღების ელექტროქიმიური მეთოდი. თავდაპირველად ბუფერის სახით გამოყენებულია ბორის მჟავა. შენადნობისა და კომპოზიციური მასალის 5 ა/დმ² -10 ა/დმ²-ზე მიღებისას, ბორის მჟავა საკმარისი არ აღმოჩნდა (დანაფარში უხვად იყო ჰიდროჟანგები). მაღალი დენის სიმკვრივეზე კომპაქტური დანაფარის მისაღებად შესწავლილია ელექტროლიტში დამატებული მალონის მჟავას ბუფერული ტევადობა.

შედეგი. შესწავლილია როგორც ნიკელის, ისე NiP შენადნობისა და NiPAl₂O₃ კომპოზიციური მასალის დენით გამოსავლის დამოკიდებულება ნიკელის სულფატის, ნატრიუმის ჰიპოფოსფიტის, ნატრიუმის დოდეცილ-სულფატისა და ალუმინის ჟანგის კონცენტრაციაზე, ასევე შენადნობში გადასული ფოსფორის პროცენტული შემცველობის (მას %) დამოკიდებულება ნატრიუმის ჰიპოფოსფიტის კონცენტრაციასა და დენის სიმკვრივეზე.

დასკვნა. დადგენილია სულფატურ-ქლორიდული, მალონის მჟავას შემცველი ელექტროლიტიდან მაღალი დენით გამოსავლით ნიკელ-ფოსფორის შენადნობის მიღების პირობები. ნიკელის შემცველი კომპოზიციური დანაფარები ხასიათდება მაღალი სიმტკიცით, სიმაგრითა და კოროზიული მდგრადობით. ელექტროქიმიურად მიღებული Ni,

NiP-NiPAl₂O₃-ის რენტგენოგრაფიული ანალიზი ადასტურებს ნიკელისა და კომპოზიციური შენადნობის არსებობას. მარცვლის ზომა საკმაოდ მცირეა, კერძოდ ახლად მიღებულ დანაფარში ნაწილაკის საშუალო დიამეტრი 40-50 ნმ-ია, ხოლო გამომწვარში - 50-80 ნმ.

საკვანძო სიტყვები. ელექტროლიზი, კომპოზიციური დანაფარი, ნიკელი, ფოსფორი, ალუმინის ჟანგი.

1. შესავალი

ნიკელსა და მის შენადნობებს, როგორც დამცავ დანაფარებს, უპირატესობა ენიჭება, რადგან მათთვის დამახასიათებელია ისეთი მნიშვნელოვანი თვისებები, როგორცაა მაღალი სიმტკიცე, დარტყმითი სიბლანტე და ჰაერზე მაღალი კოროზიული მდგრადობა. აღნიშნული მახასიათებლებიდან გამომდინარე Ni-Co და Ni-Co-P დანაფარები წარმატებით ანაცვლებს ჯანმრთელობისა და გარემოსთვის საშიშ ქრომიან დანაფარებს. ნიკელფოსფორიანი შენადნობი გამოიყენება ელექტრონიკაში, ვაკუუმ-ტექნიკაში, საავიაციო მრეწველობაში, კოსმოსურ ტექნიკაში, ელექტრონულ და ბირთვულ მრეწველობაში, სინთეზური მასალების წარმოებაში, მაგნიტურ ჩამწერ მოწყობილობებში, ნავთობისა და გაზის მრეწველობაში, როგორც კოროზიამედეგი დანაფარები [1-3].

ელექტროსინთეზით მიღებული Ni-P დანაფარი, ნიკელის დანაფართან შედარებით, ხასიათდება გაუმჯობესებული მექანიკური, ტრიბოლოგიური და ელექტროქიმიური თვისებებით. ამასთან, ისინი ხასიათდება, მაღალი კატალიზური აქტივობით და მაგნიტური თვისებებით. შემდგომი თერმული

დამუშავებით Ni-P დანაფარის სიმტკიცე უახლოვდება და ზოგჯერ აღემატება Cr-ით დანაფარის სიმტკიცეს. ელექტროქიმიურად შესაძლებელია არა მხოლოდ ორკომპონენტური, არამედ მრავალკომპონენტური დანაფარის მიღებაც [1,2].

დანაფარის თვისებების გაუმჯობესება უდიდეს გამოწვევად რჩება. Ni-P შენადნობში შესაძლებელია სხვადასხვა ლითონური, არალითონური და პოლიმერული კომპონენტების ჩართვა, რომელთა მეშვეობით შესაძლებელია თანამედროვე საინჟინრო დანაფარებისადმი წაყენებული მოთხოვნების დაკმაყოფილება. მათ შორის მნიშვნელოვანია კერამიკული და პოლიმერული ჩანართები, როგორცაა: SiC, B₄C, WC, Al₂O₃, SiO₂, TiO₂, CeO₂, ნახშირბადის ნანომილაკები, MoS₂, WS₂, TiN, ჰექსაგონური ბორის ნიტრიდი, პოლიტეტრაფთორეთილენი და მათი კომბინაცია. დანაფარს განსაკუთრებულ თვისებებს ანიჭებს ბორისა და ალუმინის ოქსიდის დანამატები. ცნობილი კერამიკული მასალა ალუმინის ოქსიდი ხასიათდება როგორც მაღალი სიმტკიცით, ისე კარგი თავსებადობით მატრიცასთან. უფრო მაღალი სიმტკიცითა და ცვეთამედეგობით ხასიათდება კომპოზიციური ნანოდანაფარები. ნანოკომპოზიტურ დანაფარს აქვს უფრო მაღალი სიმტკიცე, ხახუნისადმი მდგრადობა, ცვეთამედეგობა და კოროზიამედეგობა, ვიდრე ჩვეულებრივ გალვანურ დანაფარებს [3-10].

2. ძირითადი ნაწილი

ნიკელ-ფოსფორის შენადნობის ელექტროქიმიური გამოლექვა

ლითონის ნაკეთობების დაცვა შეიძლება განხორციელდეს სხვადასხვა ტექნოლოგიის გამოყენებით. მონიკვლევა ამჟამად ერთ-ერთი ყველაზე პოპულარული და ფართოდ გავრცელებულია. ეს პოპულარობა განპირობებულია ნიკელის ქიმიური თვისებებით. იგი კოროზიულად ძალზე მდგრადია წყალხსნარებში. ნიკელის ოქსიდი ხელს უშლის ლითონის შემდგომ დაჟანგვას. გარდა ამისა, ნიკელზე სუსტად მოქმედებს მარილები, მჟავები და ტუტეები, გამონაკლისია აზოტმჟავა.

ნიკელ-ფოსფორის შენადნობის ელექტროქიმიური გამოლექვა ნიკელისა და ფოსფორის ერთდროული თანაგამოლექვით ხდება. ნიკელისა და ფოსფორის დაკავშირება გამოკრისტალბამდე ხდება, ამიტომ კათოდზე გამოლექილი ამორფული შენადნობი Ni-P უფრო ნაკლები დეფექტებით ხასიათდება. გალვანური მეთოდით შეიძლება საკმაოდ სქელი (დაახლოებით 1 მმ) დანაფარის მიღება.

ნიკელ-ფოსფორის შენადნობის ქიმიური შედგენილობა (გავლენას ახდენს ფაზურ შედგენილობაზე), კრისტალბების ზომა, უპირატესი ორიენტაცია (ტექსტურა) და შინაგანი დამაბულობა განსაზღვრავს მაგნიტურ თვისებებს, კოროზიისადმი მდგრადობას, ელექტრულ და მექანიკურ თვისებებს [11].

აღნიშნული თვისებებიდან გამომდინარე, ნიკელფოსფორიანი დანაფარი წარმატებით ანაცვლებს ნიკელ-ქრომს. იგი გამოიყენება მრეწველობის ისეთ სფეროებში, როგორცაა საავიაციო, ელექტრონული და ბირთვული მრეწველობა, კოსმოსური ტექნიკა, სინთეზური მასალების წარმოება, ვაკუუმ-ტექნიკა და სხვა [12-14].

ნიკელ-ფოსფორის შენადნობის მისაღებად გამოყენებული ყველა ელექტროლიტი ძირითადად უოტსის ტიპისაა, რომელსაც დამატებული აქვს ფოსფორის შემცველი კომპონენტები. ფოსფორის დონორის სახით გამოიყენება ფოსფორი (I) და (III), კერძოდ ჰიპოფოსფორიანი მჟავა ან ფოსფორიანი მჟავა და მათი შესაბამისი ხსნადი მარილები (ჰიპოფოსფიტები, ფოსფიტები) [15-24].

ნიკელ-ფოსფორის შენადნობის ელექტროგამოლექვა რთული პროცესია, რომელიც რამდენიმე სტადიისგან შედგება და მასზე მოქმედებს მრავალი ფაქტორი – გეომეტრიული ფაქტორები: ელექტროდების ფორმა და ზომა, მათი განლაგება ერთმანეთისა და ჭურჭლის კედლების მიმართ; ელექტროქიმიური ფაქტორები: კათოდის პოტენციალის ცვლილება დენის სიმკვრივის ცვლილებაზე დამოკიდებულებით, ლითონის დენით გამოსავლის დამოკიდებულება დენის სიმკვრივეზე, ელექტროგამტარობა, ელექტროლიტის შედგენილობა და

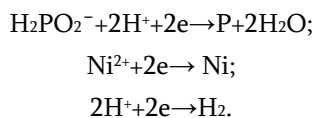
სხვა; “შემთხვევითი” ფაქტორები: დასაფარი ლითონის ბუნება, მისი ზედაპირის მდგომარეობა, წინასწარი დამუშავება და სხვა.

ლიტერატურაში განხილულია შენადნობის მიღების ორი მექანიზმი – პირდაპირი და ირიბი. შენადნობის ელექტროგამოლექვის პირდაპირი მექანიზმი მდგომარეობს ნიკელისა და ფოსფორის იონების პირდაპირ ადდგენაში.

გალვანური დანაფარის Ni-P გამოლექვა ძირითადად წყალხსნარის ფაზიდან ხდება. აბაზანა შეიცავს Ni^{2+} იონებს ნიკელის წყაროს სახით და ჰიპოფოსფიტის მჟავას ან მის მარილებს ფოსფორის წყაროს სახით. ელექტროგამოლექვა მუდმივი დენით მიმდინარეობს. ნიკელისა და ფოსფორის ადდგენის სტანდარტული პოტენციალები ახლოსაა (Ni (-0,25 ვ), P (-0,28 ვ)) და გაადვილებულია თანაგამოლექვა [12].

ელექტროლიზის დროს ნიკელიან დანაფარში ფოსფორის ჩანერგვა ახსნილია ორი მექანიზმით: პირდაპირი და არაპირდაპირი. პირდაპირი მექანიზმის თანახმად, ნიკელისა და ჰიპოფოსფიტის იონები ადდგება ატომურ ნიკელამდე (Ni) და ფოსფორამდე (P), რომელიც შემდეგ $NixP$ მყარ ხსნარს წარმოქმნის [15-19].

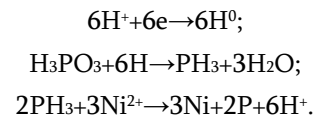
პირდაპირი მექანიზმი შემოგვთავაზა ბრენერმა, რომლის ხედვით, ფოსფორი შეიძლება გამოილექოს მხოლოდ რკინის ჯგუფის ლითონებთან ერთად. პირველი მექანიზმი მდგომარეობს ჰიპოფოსფიტ იონიდან ფოსფორამდე, ნიკელის იონის ნიკელამდე და წყალბადის იონის წყალბადამდე ადდგენაში:



ნიკელისა და ფოსფორის ერთობლივ ადდგენას განაპირობებს ადდგენის პოტენციალების სიახლოვე [10-14].

არაპირდაპირი მექანიზმი პირველად შემოგვთავაზა ფედოტოვმა, რომლის თანახმად, წყალბადის იონების არსებობის გამო წარმოიქმნება შუალედური ნაერთი ფოსფინი PH_3 , რომელიც შედის ქიმიურ რეაქციაში ნიკელის იონებთან,

იჟანგება და წარმოიქმნება ნიკელ-ფოსფორის შენადნობი:



ზოგიერთი ექსპერიმენტული მონაცემი ადასტურებს არაპირდაპირი მექანიზმისა და შუალედური ნაერთების წარმოქმნას, შენადნობის ელექტროგამოლექვისას.

ნიკელ-ფოსფორის შენადნობის ელექტროგამოლექვის მექანიზმში განხილულია ჰიპოტეზა, რომ ჰიპოფოსფიტის ანიონს აქვს სპეციფიკური სტრუქტურა, რის გამოც ის ფოსფორის დონორია და ხასიათდება ზედაპირულად აქტიური თვისებებით [20-25].

ელექტროლიტის მომზადება

Ni, NiP-სა და $NiPAI_2O_3$ მულტიფუნქციური კომპოზიტური დანაფარის მისაღებად იყენებენ მრავალკომპონენტის ელექტროლიტებს, რომელშიც გამოყენებულია სხვადასხვა ზედაპირულად აქტიური ნივთიერება – ბუფერები, ნიკელის ქლორიდები და სულფატები, ხოლო ფოსფორის წყაროს სახით – ჰიპოფოსფატები, ფოსფორმჟავა და სხვა [26-29].

დანაფარების მისაღებად გამოყენებულია კომბინირებული ელექტროლიტი (ცხრილი 1). ნიკელის სულფატის მომზადების შემდეგ ხსნარს ემატება დანარჩენი კომპონენტები: ნიკელის ქლორიდი, ნატრიუმის დოდეცილსულფატი, ნატრიუმის ჰიპოფოსფიტი, ბორის მჟავა, მალონის მჟავა და 1-ლიტრიანი საზომი კოლბა ჭდემდე ივსება. pH-ის დასარეგულირებლად და საწყისი მჟავიანობის (P_{H-2}) მისაღებად ელექტროლიტს გოგირდმჟავა ემატება.

ელექტროქიმიური პროცესი

დანაფარის მიღებამდე კათოდის ზედაპირი (კათოდად გამოყენებულია ფოლადის (99,19 % Fe, 0,75 % Mn; 0,053 % Cu) ფირფიტა, ზომა $40 \times 25 \times 2$ მმ). სუფთავდება ქიმიური და ელექტროქიმიური გაცხიმვით, ზუმფარის ქაღალდით, მოწამვლით, გააქტიურებით, გარეცხვით და გაშრობით.

პერანგან უჯრედში თავსდება ორი ანოდი და ერთი კათოდი (სურათი 1), რომლებიც მიერთებულია მუდმივი დენის წყაროსთან. მაგნიტური

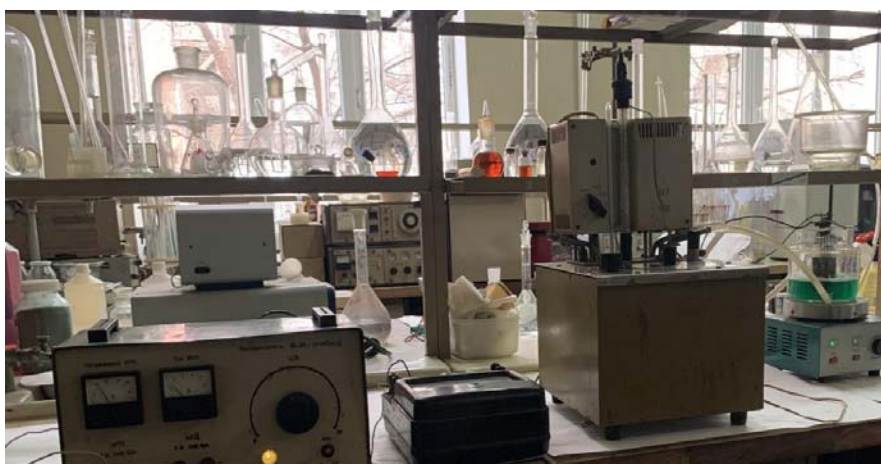
შემრევი უზრუნველყოფს ელექტროლიტის მუდმივ მორევას, ხოლო თერმოსტატი – უჯრედში ტემპერატურის მუდმივობას.

ცხრილი 1

**Ni-სა და NiP შენადნობის ელექტროქიმიური
სინთეზის ძირითადი პარამეტრები**

№	ელექტროლიტის შემადგენელი კომპონენტები, M (გ/ლ)						pH	t,0C	ik, ა/დმ2
	NiSO ₄ ·7H ₂ O	NiCl ₂ ·7H ₂ O	C ₁₂ H ₂₅ SO ₄ Na	C ₃ H ₄ O ₄	NaH ₂ PO ₂ ·H ₂ O	H ₃ BO ₃			
1	0,5 (140)	0,06(15)	0,05(14)	-	-	0,5(31)	2,0-2,5	50±10C	2-10
2	0,5 (140)	0,06(15)	0,05	0,1	-	-			
3	0,5 (140)	0,06(15)	0,05	-	0,1	0,5(31)			
4	0,5 (140)	0,06(15)	0,05	0,1	0,1	-			
5	0,3(85)	0,06 (15)	0,05	0,1-0,3 (10,4-31,2)	0,1-0,4 (10,4-41,6)	-			
6	0,8 (230)	0,06 (15)	0,05	0,1-0,3 (10,4-31,2)	0,1-0,4 (10,4-41,6)	-			

კათოდის ორივე მხარეს თანაბარი დანაფარის მისაღებად ანოდებსა და კათოდს შორის მანძილი 20 მმ-ია. ელექტროლიზის ტემპერატურა 50±10°C. ნიკელისა და ნიკელ-ფოსფორის დანაფარის დენით გამოსავალი განსაზღვრულია გრავიმეტრიული მეთოდით.

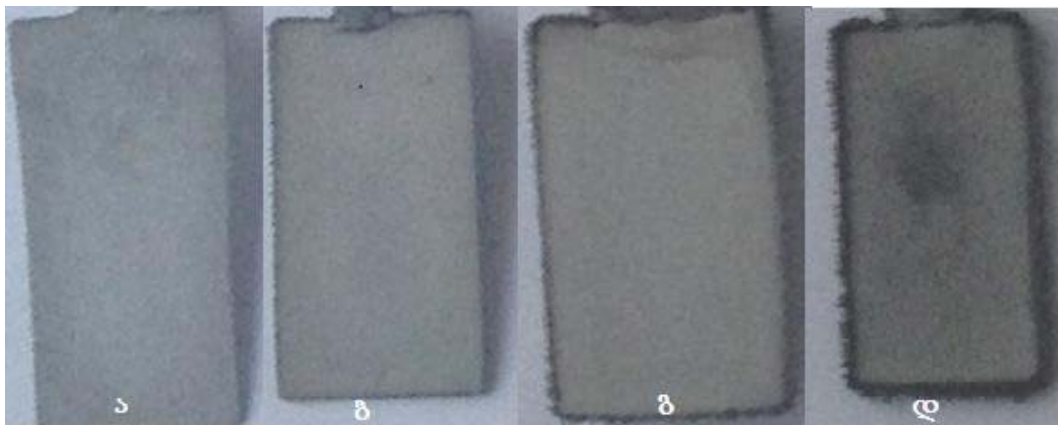


**სურ. 1. ნიკელიანი და კომპოზიციური დანაფარის
ელექტროსინთეზის დანადგარი**

შესწავლილია კომპონენტებისა და ელექტროლიზის პარამეტრების (კათოდური დენის სიმკვრივე, pH) გავლენა დანაფარის დენით გამოსავალზე. ელექტროლიზის პროცესში იცვლება ელექტროლიტის შედგენილობა. ნიკელის იონებით შევსება ხდება ხსნადი ანოდის დახმარებით, ხოლო ნატრიუმის ჰიპოფოსფიტი იხარჯება ელექტროქიმიური და ხსნარის მოცულობაში მიმდინარე ქიმიური რეაქციებით. დანაფარში ჩართული ფოსფორის პროცენტული შემცველობა ნელ-ნელა მცირდება. კათოდისპირა არეში მჟავიანობის შემცირება ართულებს ჰიპოფოსფიტის იონების განმუხტვას, გავლილი ელექტრობის რაოდენობაც უზრუნველყოფს ფოსფორის კონცენტრაციის შემცირებას.

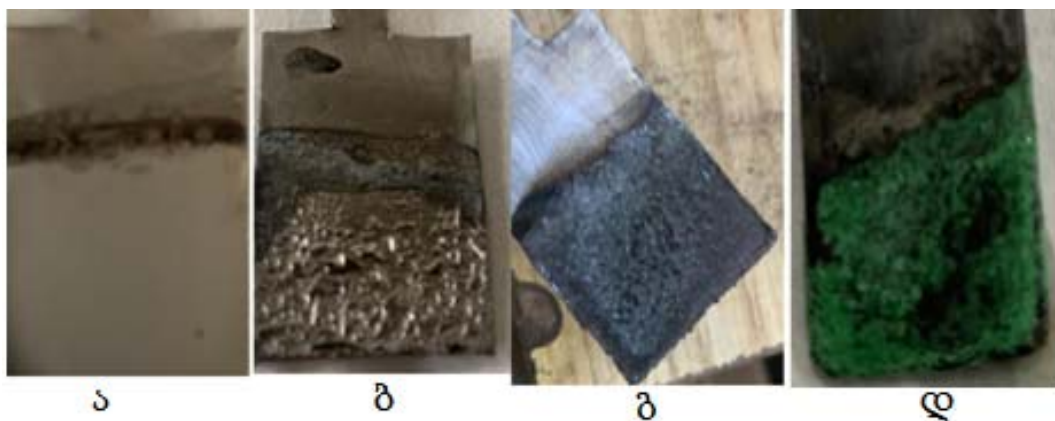
ნიკელიანი და ნიკელფოსფორიანი შენადნობის მიღებისას (ელექტროლიზის ხანგრძლივობა 0,5სთ) მაღალი დენის სიმკვრივეზე დანაფარებში დაფიქსირდა პიტინგები და ჰიდროჟანგების სიჭარბე, რაც განპირობებულია ელექტროლიტის გატუტინებით.

2ა/დმ² დენის სიმკვრივეზე მიღებული დანაფარი შედარებით თანაბარია და მხოლოდ კიდეებზე ხასიათდება პიტინგებით, 5 ა/დმ² და 7 ა/დმ² დენის სიმკვრივისას მიღებული ნიკელ-ფოსფორის დანაფარი არათანაბარიყო, შეიცავდა დენდრიტებს, ხოლო 10ა/დმ²-ის დროს უხვად წარმოიქმნა ჰიდროჟანგები (სურ. 2).



სურ. 2. Ni-იანი დანაფარი:

ა) $i=2$ ა/დმ²; ბ) $i=5$ ა/დმ²; გ) 7 ა/დმ²; დ) 10 ა/დმ²



სურ. 3. Ni-P დანაფარი:

ა) 2 ა/დმ²; ბ) 5 ა/დმ²; გ) 7 ა/დმ²; დ) 10 ა/დმ²

როგორც სურათებიდან ჩანს, ნიკელის, განსაკუთრებით ნიკელ-ფოსფორის შენადნობის მიღებისას დენის სიმკვრივის გაზრდისას დანაფარის ხარისხი უარესდება, რადგან ბორის მჟავას ბუფერული თვისებები საკმარისი არ აღმოჩნდა.

ელექტროლიზის დროის, ფენის სისქისა და ლითონის დენით გამოსავლის ანგარიში

ნიკელისა და ნიკელ-ფოსფორის დენით გამოსავალი განსაზღვრულია გრავიმეტრიული მეთოდით. ნიკელის დენით გამოსავალი გამოითვლება ფორმულით:

$$\eta = \frac{m_{პრ}}{m_{თეორ}} \times 100,$$

სადაც $m_{პრ}$ გამოლექილი ნიკელის რაოდენობა (კათოდის წონის სხვაობა ელექტროლიზამდე და ელექტროლიზის შემდეგ), გ; $m_{თეორ}$ – თეორიულად ნაგარიშები ნიკელის რაოდენობა:

$$m_{თეორ} = I \cdot \tau \cdot q_{Ni}$$

სადაც I დენის ძალა, ა; q_{Ni} – ნიკელის ელექტროქიმიური ეკვივალენტი, $q_{Ni}=1,095$ გ/(ა.სთ); τ – ელექტროლიზის ხანგრძლივობა, წთ.

ელექტროლიზით მიღებული ნიკელ-ფოსფორის დანაფარის გამოხდელი წყლით გარეცხვის, გაშრობისა და აწონვის შემდეგ გამოითვალა შენადნობის პრაქტიკული დენით გამოსავალი. ნიმუშის აზოტმჟავაში გახსნით კოლორიმეტრიული მეთოდით განისაზღვრა ფოსფორის შემცველობა შენადნობში. ნიკელისა და ფოსფორის პროცენტული შედგენილობის დადგენით განისაზღვრა შენადნობის ელექტროქიმიური ეკვივალენტი:

$$q_{NiP} = \frac{q_{Ni} \times q_P}{\%Ni \times q_{Ni} + \%P \times q_P}, \text{ გ/ა.სთ}$$

სადაც Ni % და P % ნიკელისა და ფოსფორის პროცენტული შემცველობაა შენადნობში; q_{Ni} , q_P – ნიკელისა და ფოსფორის ელექტროქიმიური ეკვივალენტი, გ/(ა.სთ); ($q_{Ni}=1,095$ გ/(ა.სთ), $q_P=1,15$ გ/(ა.სთ)).

ელექტროლიზის ხანგრძლივობა, დანაფარის სისქისა და დენით გამოსავლის გათვალისწინებით, გამოითვლება ფორმულით:

$$\tau = \frac{\delta_{NiP} \times \rho_{NiP} \times 60}{q_{NiP} \times i_k \times \eta}, \text{ წთ}$$

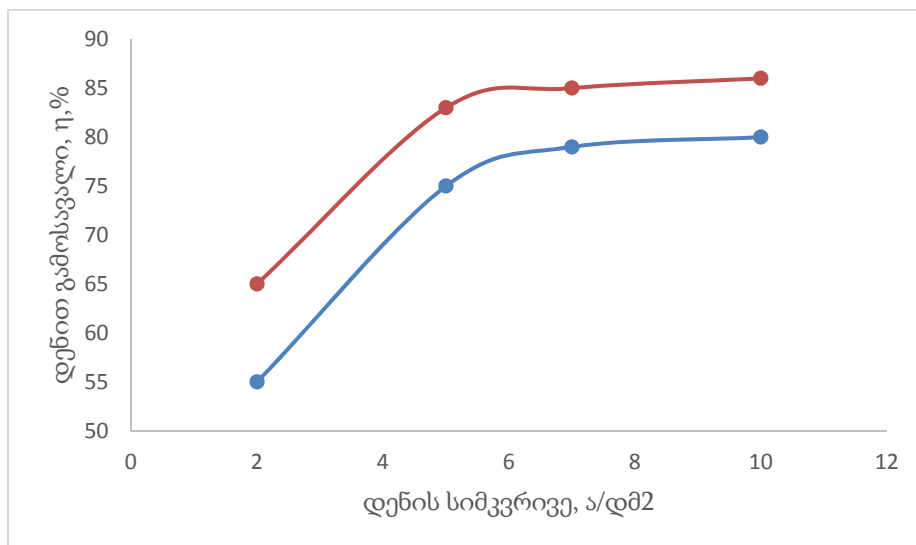
სადაც δ_{NiP} გამოსალექი შენადნობის სისქეა, მკმ; ρ_{NiP} – შენადნობის სიმკვრივე, გ/სმ³; q_{NiP} – შენადნობის ელექტროქიმიური ეკვივალენტი, გ/(ა.სთ); i_k – კათოდური დენის სიმკვრივე, ა/დმ²; η – დენით გამოსავალი, %.

ნიკელის დენით გამოსავლის ანალოგიურად იანგარიშება ნიკელ-ფოსფორის დენით გამოსავალი [1].

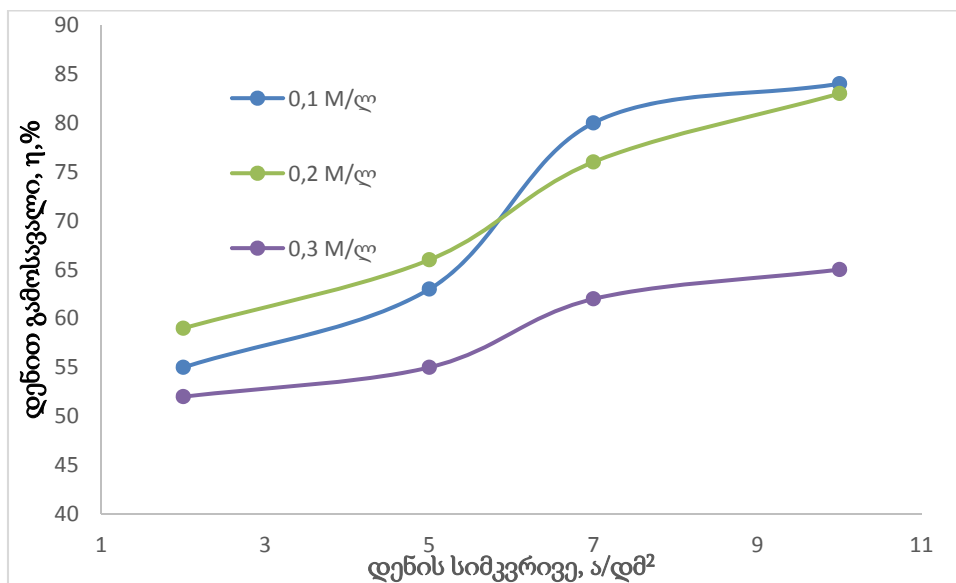
მალონის მჟავას ბუფერული თვისებებისა და ელექტროლიზის დადგენა

ელექტროლიზის პროცესზე მალონის მჟავას გავლენის დასადგენად შეწავლილია მისი კონცენტრაციის გავლენა შენადნობის დენით გამოსავალზე. ელექტროლიტის ბუფერული თვისებების გასაუმჯობესებლად, ხსნარში დამატებული მალონის მჟავა, 0,1 მოლი/ლ კონცენტრაციით, საშუალოდ 10%-ით ზრდის შენადნობის დენით გამოსავალს (სურ. 1).

შენადნობის მაღალი დენით გამოსავლით მისაღებად საკმარისია მალონის მჟავას 0,1–0,2 მოლი/ლ კონცენტრაცია (სურ. 2). მაღალ დენის სიმკვრივეზე მჟავიანობა შენარჩუნებულია როგორც კათოდისპირა არეში, ისე მთელ მოცულობაში.



სურ. 1. შენადნობის დენით გამოსავლი:
1 - ბორისმჟავას (0,5 მოლი/ლ) დამატებით, 2 - მალონის მჟავას (0,1მოლი/ლ) დამატებით



სურ. 2. NiP შენადნობის დენით გამოსავლის დამოკიდებულება მალონის მჟავას კონცენტრაციაზე (NiSO₄·7H₂O, 0,8 მოლი (230გ/ლ))

ელექტროლიტის ბუფერული თვისებების გასაუმჯობესებლად, ბორისმჟავას მალონის მჟავით ჩანაცვლების შემდეგ, შესწავლილია NiSO₄·7H₂O - 0,8M, NiCl₂·7H₂O - 0,06M, H₃BO₃-0,5M, NaH₂PO₂·H₂O - 0,2M და NiSO₄·7H₂O-0,8M, NiCl₂·7H₂O-0,06M, C₃H₄O₄-0,2M, NaH₂PO₂·H₂O-0,1M ელექტროლიტების ბუფერული ტევადობა.

როგორც ანალიზმა აჩვენა, მალონის მჟავას ბუფერული ტევადობა გაცილებით მაღალია და ამიტომ ჰიდროჟენების წარმოქმნაც უფრო მაღალ მჟავიანობაზე ფიქსირდება (ცხრ. 2; სურ. 3).

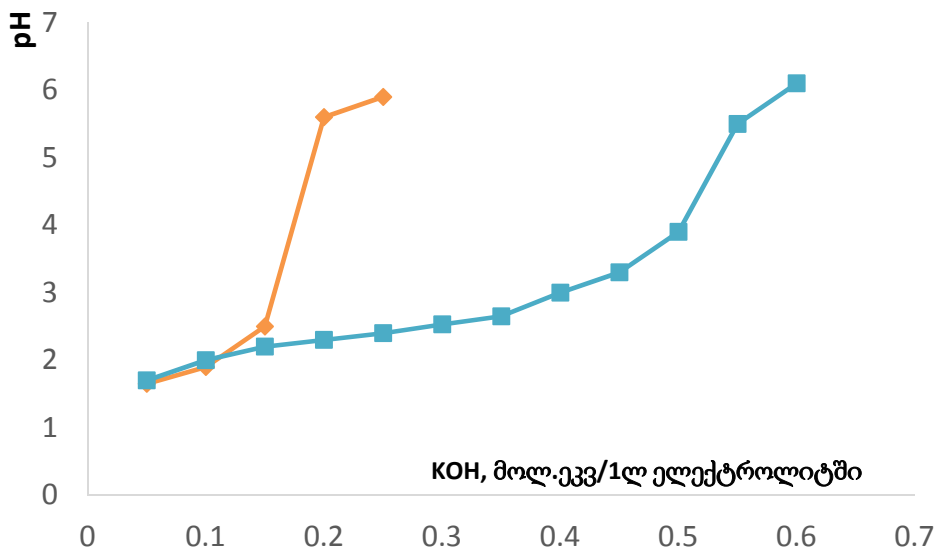
შესწავლილია ასევე ნიკელის სულფატის კონცენტრაციის გავლენა ნიკელისა და ნიკელ-

ფოსფორის შენადნობის დენით გამოსავალზე. კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად იზრდება ნიკელის დენით გამოსავალი, თუმცა 0,5-დან 0,8-მდე კონცენტრაციის გაზრდა დენით გამოსავალზე მნიშვნელოვნად აღარ მოქმედებს (სურ.4).

ცხრილი 2

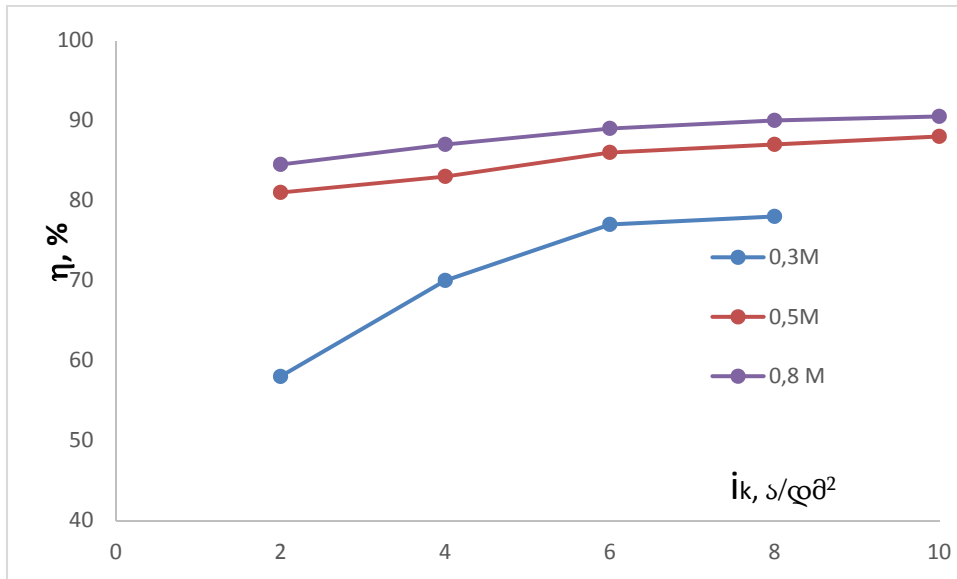
ბუფერული ტევადობის შეფასება

ბუფერის კონცენტრაცია, მოლი/ლ	pH ₀	pH ჰიდრ.	ბუფერული ტევადობა β, მოლი/ლ				
			pH-ის ინტერვალი				
			2,0-3,0	2,5-3,5	3,0-4,0	3,5-4,5	4,0-5,0
H ₃ BO ₃ -0,5	1,71	5,4	0,088	0,029	0,007	0,005	0,008
C ₃ H ₄ O ₄ -0,2	1,7	6,1	0,146	0,132	0,128	0,111	0,084



სურ. 3 ელექტროლიტის ბუფერული ტევადობა:

ა) ბორის მჟავით; ბ) მალონის მჟავით



სურ. 4. ნიკელის სულფატის კონცენტრაციის გავლენა ნიკელ-ფოსფორის შენადნობის დენით გამოსავალზე

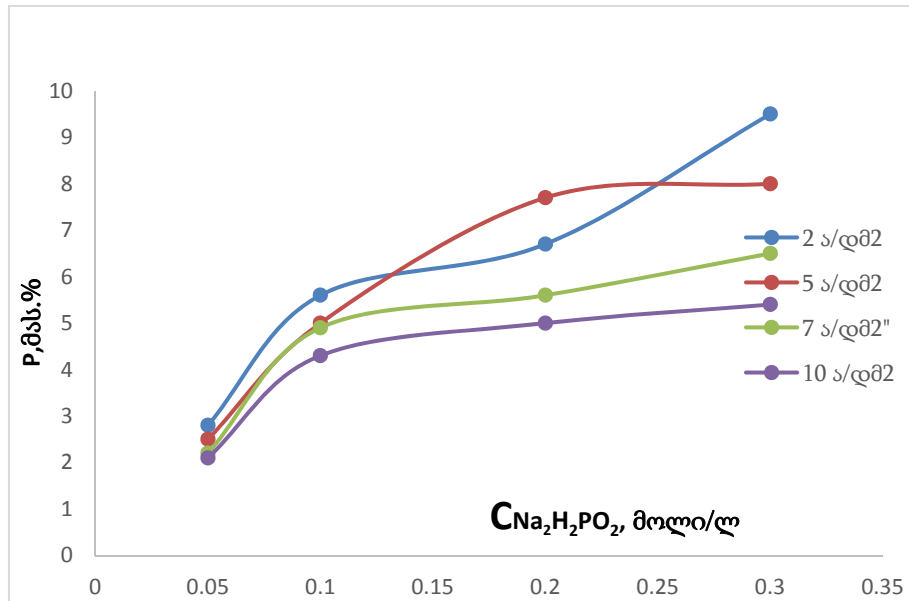
ნიკელის სულფატის კონცენტრაციის შემცირებისას (0,5 მოლიდან 0,3 მოლამდე) დენით გამოსავალი მკვეთრად ეცემა, დანაფარის ხარისხი უარესდება, დადენის სიმკვრივის 10ა/დმ²-მდე გაზრდის საშუალებას არ იძლევა. მაღალი დენის სიმკვრივეზე დანაფარის მისაღებად რეკომენდებულია ნიკელის სულფატის კონცენტრაცია 0,5-0,8მოლი(სურ.4).

შენადნობში ფოსფორის შემცველობაზე დიდ გავლენას ახდენს ნატრიუმის ჰიპოფოსფიტის კონცენტრაცია (სურ.4). ნატრიუმის ჰიპოფოსფიტის კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად იზრდება ფოსფორის შემცველობა შენადნობში. დენის სიმკვრივისა და მჟავიანობის ზრდისას ფოსფორის შემცველობა მცირდება. დენის სიმკვრივის ზრდისას ტუტიანდება კათოდისპირა არე, ასევე იზრდება ნიკელის იონების მიგრაცია კათოდთან, ამავდროულად იზრდება ხსნარის მოცულობაში მიმდინარე ჟანგვა-აღდგენითი რეაქციების ალბათობა და ფუჭდება დანაფარის ხარისხი. აღნიშნული პროცესების მიმდინარეობის შედეგად ჩქარდება ჰიპოფოსფიტის დაშლა და მცირდება

დანაფარში ფოსფორის შემცველობაც. მაშასადამე, ფოსფორის შემცველობა შენადნობში დამოკიდებულია როგორც ელექტროლიტის შედგენილობაზე, ისე ელექტროლიტის რეჟიმზე. მისი შემცველობა შენადნობში 1-დან 9%-მდეიცვლება.

სხვადასხვა პირობებში მიღებულ დანაფარში ფოსფორის შემცველობის შესასწავლად გამოყენებულია სპექტროფოტომეტრიული მეთოდი. ფოსფორის შემცველობის დასადგენად აიგო საკალიბრო მრუდი. გაიზომა SPECTRO-V11D ფოტოკოლორიმეტრის მეშვეობით. მეთოდი საშუალებას იძლევა დროულად მოხდეს ხსნარის კორექტირება და დანაფარში ფოსფორის მუდმივობის შენარჩუნება.

2 ÷ 5 ა/დმ² დენის სიმკვრივის, 0,2 ÷ 0,3 მოლი/ლ ნატრიუმის ჰიპოფოსფიტის კონცენტრაციის, დაბალი მჟავიანობისა (pH 2-2,5) და 0,5 ÷ 0,8 მოლი/ლ ნიკელის სულფატის კონცენტრაციისას მიიღება Ni-P შენადნობის ყველაზე უკეთესი დანაფარი როგორც ვიზუალური, ისე ფოსფორის შემცველობის თვალსაზრისით. დანაფარის ხარისხი ვიზუალურად ყველაზე უკეთესია 5ა/დმ²-ზე.



სურ. 5 დანაფარში ფოსფორის შემცველობის დამოკიდებულება ნატრიუმის ჰიპოფოსფიტის კონცენტრაციაზე

მულტიფუნქციური NiPAl₂O₃ კომპოზიციური მასალის ელექტროქიმიური სინთეზი

ნიკელის შემცველი კომპოზიციური დანაფარები ხასიათდება მაღალი სიმტკიცით, სიმაგრითა და კოროზიული მდგრადობით, ამიტომ მათზე მოთხოვნა მზარდია. მრავალი მკვლევრის მიერ დადგენილია, რომ ნანოალუმინის ოქსიდის დამატებისას იცვლება დანაფარის სტრუქტურა და უმჯობესდება დანაფარის სიმტკიცე, ცვეთა- და კოროზიამდეგობა [30-33].

ალუმინის ოქსიდი ნანონაწილაკების დიდი ხვედრითი ზედაპირისა და ენერგეტიკული აქტივობის გამო არასტაბილურია და ელექტროლიზურ აბაზანაში იოლად განიცდის აგრეგაციას.

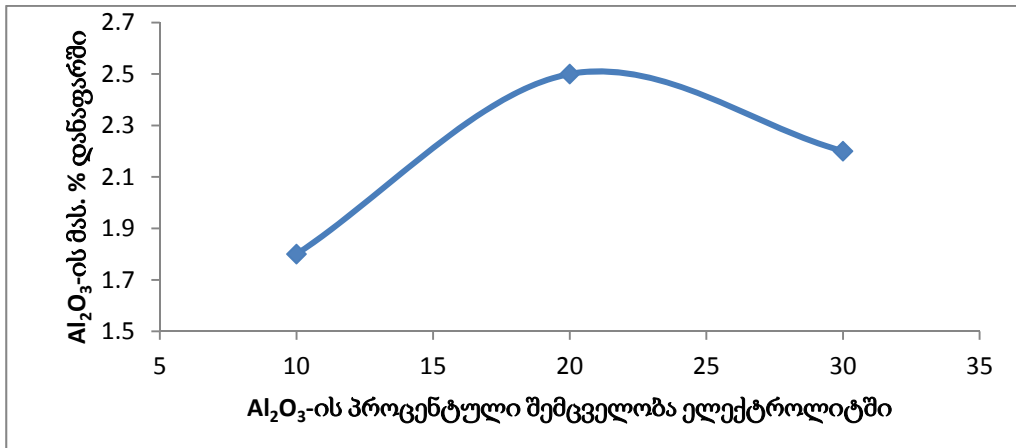
ალუმინის ოქსიდის შემცველი კომპოზიტის ელექტროქიმიური სინთეზის დროს გამოყენებულია იგივე ელექტროქიმიური დანადგარი, რაც ნიკელფოსფორიანი დანაფარის მიღებისას. ოპტიმალური შედგენილობის ელექტროლიტში ემატებოდა Al₂O₃-ის სუსპენზია.

γ Al₂O₃ თეთრი ფერის ჰაეროვანი ფხვნილია, ხვედრითი ზედაპირის ფართობი 230 მ²/გ, გამო-

ირჩევა მაღალი სისუფთავით, ინერტულობით და თერმომდგრადობით. გამოხდილ წყალში 24 სთ-იანი მუდმივი მორევის პირობებში 10 ÷ 30 % γ Al₂O₃-ის შემცველი სუსპენზია მიიღება.

საწყის ეტაპზე ელექტროლიზით 10 წთ-ის განმავლობაში, ნიკელფოსფორიანი დანაფარის მიღების შემდეგ, უშუალოდ ელექტროლიზისპროცესში ემატებოდა სუსპენზიის 50 მლ. ელექტროლიტის სახით გამოყენებული იყო: NiSO₄·7H₂O 0,8M(230გ/ლ); NiCl₂·6H₂O 0,06M(15გ/ლ); NaH₂PO₄·H₂O 0,2M(21გ/ლ); ნატრიუმის დოდეცილსულფატი – 0,1გ/ლ; მალონის მჟავა –0,2M/ლ (20,4გ/ლ); pH – 2,5; ტემპერატურა – 50±1°C; დენის სიმკვრივე – 5ა/დმ².

ელექტროლიზის პროცესში ხდებოდა ინტენსიური მორევა, თუმცა, როცა სუსპენზიის კონცენტრაცია იყო 30%, ალუმინის ჟანგის ნაწილი დაილექა და დანაფარზეც გამოჩნდა აგრეგირებული ნაწილაკები. 20%-იანი სუსპენზია უკეთესია ამ თვალსაზრისით, თუმცა, დანაფარის ხარისხიდან (თანაბარი და გლუვი) გამომდინარე, ვიზუალურად 10%-იანი სუსპენზიით მიღებული დანაფარი უკეთესია.



სურ. 6. დანაფარში Al₂O₃-ის შემცველობის დამოკიდებულება ელექტროლიტში სუსპენზიის პროცენტულ შემცველობაზე

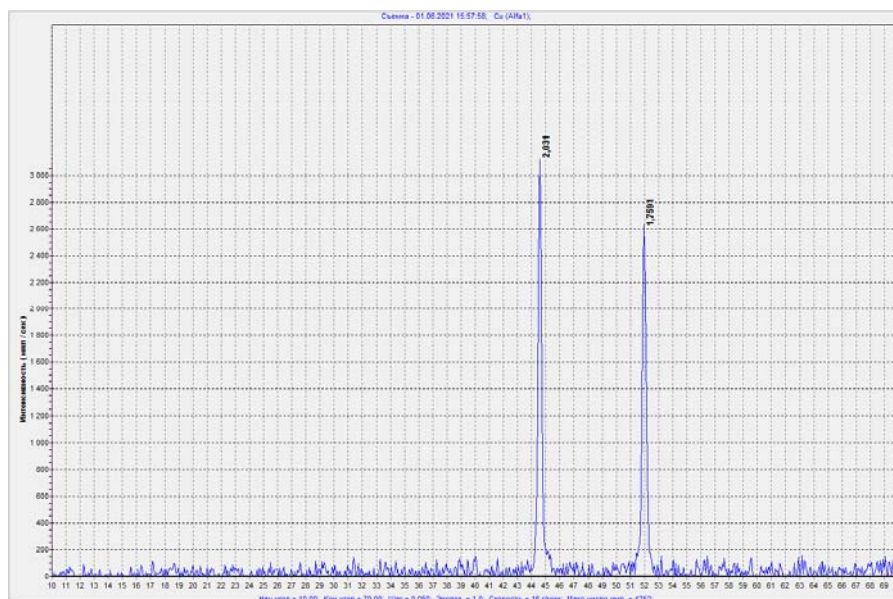
ელექტროსინთეზით მიღებული დანაფარების ანალიზი რენტგენული დიფრაქციის მეთოდით

ელექტროქიმიური სინთეზით მიღებული დანაფარები – Ni; NiP და NiPAl₂O₃ ფაზური შედგენილობის დასადგენად შესწავლილია რენტგენოფაზური ანალიზით, რენტგენოდიფრაქტომეტრ DPOH-4.07-ის გამოყენებით (ნიკელის ფოლგით გაფილტრული CuK α გამოსხივება; მილაკი – BCB-28 სპილენძის ანოდით; ძაბვა – 40კვ; დენი – 16მა).

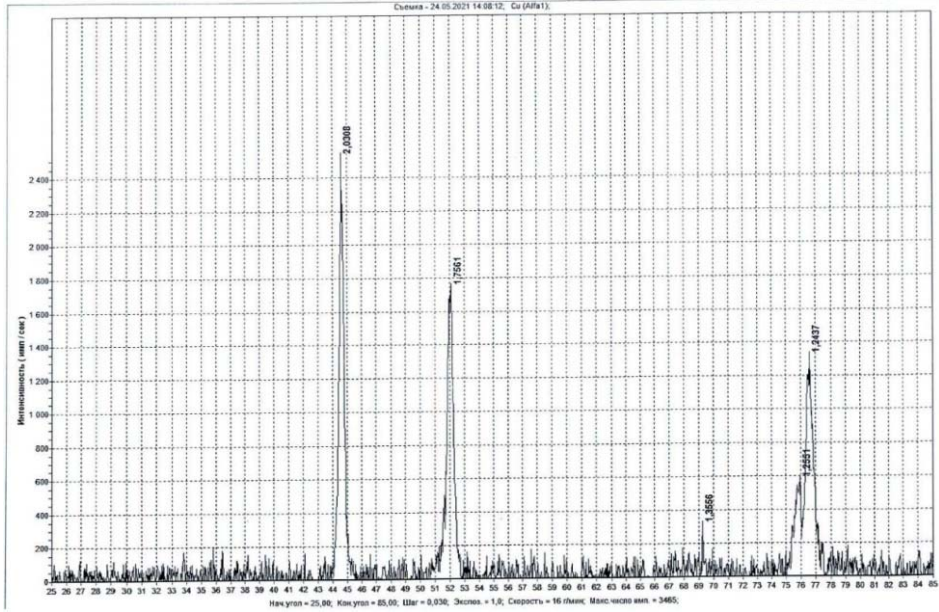
მარცვლის ზომა შეფასებულია ინტერფერენციული მაქსიმუმების გაგანიერების საფუძველზე, შერერის ფორმულის გამოყენებით:

$$\Delta(2\theta) = m\lambda / (D \cos\theta)$$

სადაც $\Delta(2\theta)$ არის ინტერფერენციული მაქსიმუმის ნახევარსიგანე რადიანებში; m – კრისტალის ფორმის ფაქტორი, რომელიც კუბური კრისტალებისთვის შეიძლება ჩაითვალოს 1-ის ტოლად; λ – ტალღის სიგრძე (CuK α – $\lambda=0.154178\text{nm}$); D – მარცვლის ზომა (ნმ); θ – ბრეგის კუთხე.



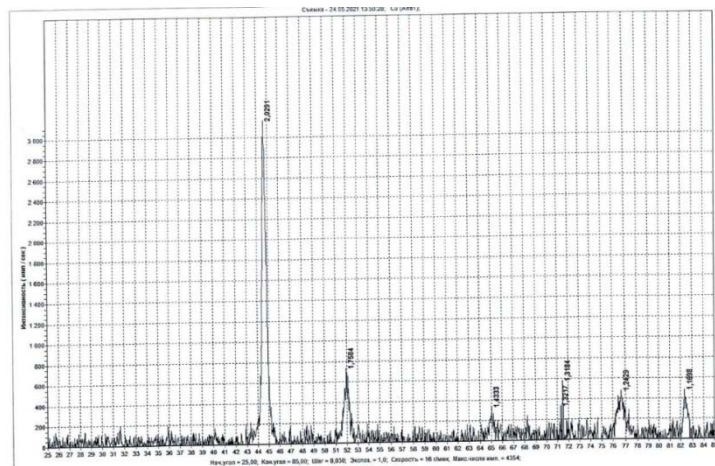
სურ. 7. Ni-ის დანაფარი ფოლადზე, 3500C-ზე გამოწვის შემდეგ



სურ. 8. NiP შენადნობის დანაფარი ფოლადზე, 3500C-ზე გამოწვის შემდეგ

ნიკელფოსფორიან დანაფარში, თითქმის ყველა შემთხვევაში, ფიქსირდება ნიკელში ფოსფორის მყარი ხსნარისთვის დამახასიათებელი პიკები, რომელიც ერთმანეთისგან მცირედ განსხვავდება ბრეგის კუთხით და მარცვლის ზომით (დიამეტრი 36–

48 ნმ), რომელიც გამოთვლილია დებაი-შერერის ფორმულით. ანალოგიური შეფასება ფიქსირდება მრავალ სტატიაში, სადაც განხილულია რენტგენული დიფრაქცია ფოსფორის სხვადასხვა შემცველობით – გამოწვამდე და გამოწვის შემდეგ [19,25].



სურ. 9. NiPAl₂O₃ დანაფარი 3500C-ზე გამოწვის შემდეგ

განსხვავდება Ni-P-Al₂O₃-ის სტრუქტურა და შესაბამისი დიფრაქციული პიკები, დანაფარი ამორფულია და ნაწილაკის დიამეტრი 19–28ნმ-ის ფარგლებშია.

კომპოზიციური მასალების ელექტროქიმიური კვლევა

დანაფარების სტაციონარული პოტენციალის დასადგენად გამოყენებულია პოტენციოსტატი IVIUMSTAT სამელექტროდიანი უჯრედით, რომელშიც შესადარებელი ელექტროდი ქლორ-ვერცხლის ელექტროდია (სტანდარტული პოტენციალი

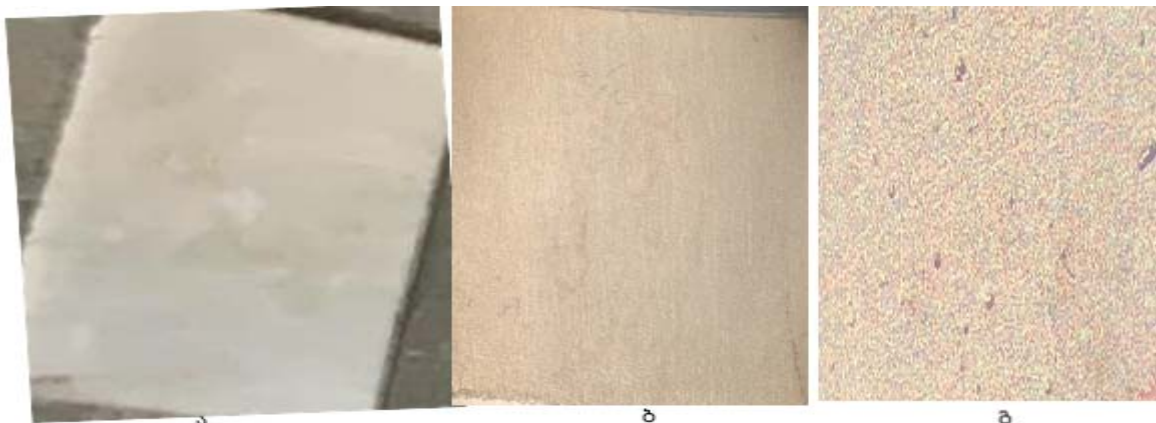
წყალბადის სტანდარტული ელექტროდის მიმართ E_{სტ}=0,22 ვ), დამხმარე ელექტროდი – პლატინის მავთული, მუშა ელექტროდი – დანაფარი მუშა ფართობით S=0,01 დმ², ხოლო ელექტროლიტი – NaCl-ის 3,5%-იანი ხსნარი. დანაფარები მიღებულია 5ა/დმ² დენის სიმკვრივის პირობებში და გამომწვარია 2სთ-ის განმავლობაში 350°C-ზე.

როგორც კვლევამ აჩვენა (ცხრ. 3), ფოსფორის შემცველობის ზრდა უდავოდ ხელს შეუწყობს დანაფარის კოროზიამდეგობას. პასივაცია შენარჩუნებულია დროის საკმაოდ ფართო ინტერვალში.

ცხრილი 3

სტაციონარული პოტენციალის დამოკიდებულება კომპოზიციური მასალის შედგენილობაზე

№	შედგენილობა	სტაციონარული პოტენციალი E _{სტ} , ვ
1	Ni	-0,5
2	NiP-P-6,7%	-0,19
3	NiP-P-7,7%	-0,17
4	Ni-P-Al ₂ O ₃ -P-6 %,Al ₂ O ₃ -2%	-0,14



სურ. 4. ელექტროქიმიური დანაფარი: ა) Ni; ბ) NiP; გ) NiPAl₂O₃

3. დასკვნა

დადგენილია სულფატურ-ქლორიდული, მალონის მჟავას შემცველი ელექტროლიტიდან მაღალი დენით გამოსავლით ნიკელ-ფოსფორის შენადნობის მიღების პირობები. ფოსფორის შემცველობა იზრდება 1-დან 8,5–9%-მდე ნატრიუმის ჰიპოფოსფიტის კონცენტრაციის გაზრდით და მცირდება დენის სიმკვრივის 7–10ა/დმ²-მდე ზრდის შედეგად.

Ni, NiP, NiP Al₂O₃-ის რენტგენოგრაფიული ანალიზი ადასტურებს ნიკელისა და კომპოზიციური შენადნობების არსებობას. მარცვლის ზომა საკმაოდ მცირეა (40–50 ნმ). ელექტროლიტით მიღებულ დანაფარებს, განსაკუთრებით NiPAl₂O₃ კომპოზიციურ მასალას აქვს საკმაოდ მაღალი კოროზიული მდგრადობა, რაც პოტენციოსტატიტით გადაღებული სტაციონარული პოტენციალის სტაბილურობით დადასტურდა.

ლიტერატურა

1. Ю.Д. Гамбург, Дж. Зангари, Теория и практика электроосаждения металлов, с. 433, (2015)319-328.
2. Y.D. Gamburg, M.Grosheva, Biallozor, S.; Hass, M. The electrochemical deposition of nickel from electrolytes containing malonic acid, Surf. Coat. Technol., Vol. 150(2002)95–100.
3. C. Ma, S.C. Wang, R.J. Wood, J. Zekonyte, Q.S. Luo, F. Walsh, The hardness of porous nanocrystalline Co-Ni electrodeposits, Metals and Materials International, 19 (2013)1187-1194.
4. C. Ma, S.C. Wang, L.P.Wang, F.C. Walsh, R.J.K. Wood, The electrodeposition and characterisation of low-friction and wear-resistant Co-Ni-P coatings, Surface and Coatings Technology, 235 (2013)495-505.
5. R.Ch. Agarwala, V. Agarwala, and R. Sharma, Electroless Ni-P Based Nanocoating Technology—A Review, Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic and Nano-Metal Chemistry, 36: (2006)493–515.
6. Y. Li, C. Fu, L. Liu, M. Liang, Y. Liu, and W. Gao, Influence of temperature and pH value on deposition rate and corrosion resistance of Ni-Zn-P alloy coating, International Journal of Modern Physics B, vol. 33, (2019)1940013.
7. L. Yongfeng, Z. Limin, W. Zhankui et al., Ni-P TiO₂ nanoparticle composite formed by chemical plating: deposition rate and corrosion resistance, International Journal of Electrochemical Science, vol.12, pp. (2017)3385–3397.
8. T.R.Tamilarasan, R.Rajendran, G.Rajagopal and J.Sudagar. Effect of surfactants on the coating properties and corrosion behaviour of Ni-P-nano-TiO₂ coatings, Surface & Coatings Technology, vol. 276 (2015)320–326.
9. W. Chen, W. Gao and Y. He, Sol-enhanced triple-layered Ni-P-TiO₂ composite coatings, Journal of Sol-Gel Science and Technology, vol. 55, no. 2(2010)187–190.
10. S. Sadreddini, A. Afshar, and M. A. Jazani, Tribological properties of Ni-P-SiO₂ nanocomposite coating on aluminum, Colloid Journal, vol. 77, (5)(2015)628–634.
11. S. Ankita and A. K. Singh, Corrosion and wear resistance study of Ni-P and Ni-P-PTFE nanocomposite coatings, Open Engineering, vol. 1, (3)(2011)234–243.
12. G. Cui, H. Liu, G. Wu, J. Zhao, Sh. Song, and P.K. Shen, Electrochemical Impedance Spectroscopy and First-Principle Investigations on the Oxidation Mechanism of Hypophosphite Anion in the Electroless Deposition System of Nickel, J.Phys. Chem. 112 (2008)4601-4607.
13. A. Lelevica, F.C. Walsh, Electrodeposition of Ni-P alloy coatings: A review, Surface & Coatings Technology, 369(2019)198–220.
14. T.M. Harris, Q.D. Dang, The mechanism of phosphorus incorporation during the electrodeposition of nickel-phosphorus alloys, J. Electrochem. Soc. 140 (1) (1993)81–83.
15. А.А. Спицина, Т.Е. Цупак, Электроосаждение сплава никель-фосфор из сульфатно-хлоридного электролита, содержащего дикарбоновую кислоту, Гальванотехника и обработка поверхности, Т. XIX, (3) (2012) 42–46.
16. M. Saitou, Y. Okudaira, W. Oshikawa, Amorphous structures and kinetics of phosphorous incorporation in electrodeposited Ni-P thin films, J. Electrochem. Soc. 150(3) (2003)140-143.
17. A.P. Ordine, S.L. Díaz, I.C. Margarit, O.E. Barcia,

- O.R. Mattos, Electrochemical study on Ni-P electro-deposition, *Electrochim. Acta*, 51(8-9) (2006)1480–1486.
18. J. Crousier, Z. Hanane, J.P. Crousier, Electrodeposition of NiP amorphous alloys, A multilayer structure, *Thin Solid Films*, 248(1)(1994)51–56.
 19. B.P. Daly, F.J. Barry, Electrochemical nickel-phosphorus alloy formation, *Int. Mater. Rev.* 48(5) (2003)326–338.
 20. A. P. Ordine, S. L. D'iaz, I. C. P. Margarit, O. E. Barcia, O. R. Mattos. Electrochemical study on Ni-P electrodeposition, *Electrochimica Acta*, (5) (2006) 1480–1486.
 21. O. Berkh, J. Zahavi, Electrodeposition and properties of NiP alloys and their composites—a literature survey, *Corros. Rev.* 14 (3–4) (1996)323–341.
 22. A.M. Pillai, A. Rajendra, A.K. Sharma, Electrodeposited nickel-phosphorous (Ni-P) alloy coating: an in-depth study of its preparation, properties, and structural transitions, *J. Coat. Technol. Res.*, 9(6) (2012)785–797.
 23. Y. Suzuki, S. Arai, I. Shohji, E. Kobayashi, Phosphorus Particle Composite Plating with Ni-P Alloy Matrix, *Journal of the Electrochemical Society*. 156(8) (2009)283–286.
 24. T.M. Harris, Q.D. Dang. The Mechanism of Phosphorus Incorporation during the Electrodeposition of Nickel- Phosphorus Alloys, *J. Electrochem. Soc.* 140(1993)81.
 25. M. Anju, A. Pillai, A. Rajendra, K. Sharma, Electrodeposited nickel-phosphorous(Ni-P) alloy coating: an in-depth study of its preparation, properties, and structural transitions, *J. Coat. Technol. Res.*, 9(6) (2012)785–797.
 26. A.P. Ordine, S. L. D'iaz, I. C. P. Margarit, O. E. Barcia, O. R. Mattos. Electrochemical study on Ni-P electrodeposition, *Electrochimica Acta*, (5)(2006) 1480–1486.
 27. D. H. Jeong, U. Erb, K. T. Aust, G. Palumbo, The Relationship Between Hardness and Abrasive Wear Resistance of Electrodeposited Nano crystalline Ni-P Coatings, *Scripta Mater.*, 48(2003)1067–1072.
 28. L. Li, Y. Zhang, Sh. Deng, Y. Chen, Effect of ammonium on low-temperature electrodeposition of Ni-P alloys, *Materials Letters*, 57 (2003)3444 – 3448.
 29. F. Tabatabaei, S. Vardak, S. Alirezaei, and K. Raeissi, The tribocorrosion behavior of Ni-P and Ni-P-ZrO₂ coatings, *Metallic Materials*, vol. 56(6) (2018)379–387.
 30. J. N. Balaraju, Kalavati, and K. S. Rajam, Influence of particle size on the microstructure, hardness and corrosion resistance of electroless Ni-P-Al₂O₃ composite coatings, *Surface & Coatings Technology*, vol. 200, no. 12-13, pp. 3933–3941, 2006.
 31. Y. Li, K. Zhang, M. Zhang, Y. Zhang, T. Wu, H. Zhao, J. Su, Zh. Wang and J. Wang, Preparation of Sol-Enhanced Ni-P-Al₂O₃ Nanocomposite Coating by Electrodeposition, *J. of Nanomaterials*, (2020)1-9.
 32. S. Alirezaei, S. M. M. Vaghefi, M. Ürgen, A. Saatchi, and K. Kazmanli, Evaluation of structure and mechanical properties of Ni-P-Al₂O₃ nanocomposite coatings, *Journal of Composite Materials*, vol. 47, (26)(2012)3323–3329.
 33. H. H. Sheu, P. C. Huang, L. C. Tsai, and K. H. Hou, Effects of plating parameters on the Ni-P-Al₂O₃ composite coatings prepared by pulse and direct current plating, *Surface & Coatings Technology*, vol. 235(22) (2013)529–535.

UDC 666.762.93

ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS OF CORROSION-RESISTANCE COMPOSITE COATING (*Ni-P-Al₂O₃*)

M. Donadze, M. Mshvildadze, Sh. Zurabishvili, N. Makhaldiani, V. Tediashvili

Georgian Technical University, Department of Chemical and Biological Technologies, Str Costava 69.
0160 Tbilisi. Georgia

E-mail: m.donadze@gtu.ge

Resume: Purpose. The aim of the study is to determine the optimal composition of the electrolyte, acidity, as well as the optimal electrochemical parameters of the electrochemical synthesis of the anticorrosive alloy - NiP and the composite material-Ni-P-Al₂O₃.

Method. The electrochemical coating method is used to obtain nickel, nickel-phosphorus alloy and composite material. Boric acid was originally used as a buffer. When measuring the alloy and composite material at 5 A/dm² - 10 A/dm², boric acid was not enough (there were many hydroxides in the coating), to obtain a dense coating at a high current density, as a buffer with used malonic acid.

results. Dependence of the current efficiency of nickel, Ni-P and composite material - Ni-P-Al₂O₃ on the concentration of nickel sulfate, sodium hypophosphite, sodium dodecyl sulfate and aluminum oxide, as well as the percentage of phosphorus in the alloy depending on the concentration of hypophosphate and current density.

Conclusion. The conditions for obtaining a nickel-phosphorus alloy from a sulfate-chloride electrolyte containing malonic acid have been established. X-ray analysis of electrochemically obtained Ni, NiP-Ni-P-Al₂O₃ confirms the presence of nickel and composite alloys. The grain size is quite small: the average particle diameter in the freshly obtained shell is 40-50 nm, and the processing field at a temperature of 350°C is 50-80 nm.

Keywords: Electrolysis; composite coating; nickel; phosphorus; alloy; aluminum oxide.

უაკ 669.1

ჭიათურის სამთო-მამდიდრებელი წარმოების ნარჩენების ფიზიკურ-ქიმიური კვლევა

თ. ლეჟავა, გ. წურწუშია, ჯ. შენგელია, ნ. ქოიავა, ვ. ჩაგელიშვილი, დ. გოგოლი, გ. გორელიშვილი, ლ. ბერიაშვილი

ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის რ. აგლამის სახელობის არაორგანული ქიმიის და ელექტროქიმიის ინსტიტუტი. საქართველო, 0186, თბილისი. მინდელის 11

E-mail: Tinatin.lezhava@tsu.ge

რეზიუმე: მიზანი. ჭიათურის სამრეწველო აუზში არსებული და პერსპექტივაში მოსალოდნელი მანგანუმშემცველი ნარჩენების ქიმიური, მინერალოგიური და გრანულომეტრიული შედგენილობის კვლევა მათი გადამუშავების ოპტიმალური ტექნოლოგიის შემუშავების თვალსაზრისით.

მეთოდი. კვლევის ობიექტების (კუდები, შლამები) ნიმუშების ელემენტური შედგენილობა განისაზღვრა რენტგენოფლოუორესცენციული (SKYRY, EDX3600H) და ქიმიური რაოდენობრივი ანალიზებით (ГОСТ 25823-83). მინერალოგიური შედგენილობის განსაზღვრა ჩატარდა რენტგენოფაზური (DRON-3M) და თერმული (NETZSCH, STA 2500) ანალიზით. გრანულომეტრიული შედგენილობის კვლევა განხორციელდა გაცრითი მეთოდით (ALTAIR PLUS, CJM-200).

შედეგი. კვლევის მონაცემების საფუძველზე დადგინდა, რომ ნარჩენებში (კუდები, შლამები) მანგანუმი ძირითადად წარმოდგენილია ოთხი მინერალის – პიროლუზიტის, ფსილომელანის, მანგანიტის და როდოქროზიტის ფაზების სახით. სილიციუმში ძირითადად არის მინერალ კვარცის და მცირე რაოდენობით კალციუმის, მანგანუმის და ალუმინის სილიკატების სახით.

ნარჩენებში ჯამური მანგანუმის (10–20%) და მანგანუმის დიოქსიდის (40–80%) კონცენტრირება დამოკიდებულია მადნის შედგენილობასა და მორეცხვის სიღრმეზე.

კუდები, ფორმირების განსხვავებული პირობების მიუხედავად, შლამებთან შედარებით გაცილებით მსხვილფრაქციულია; ორივე სახის ნარჩენში მანგანუმის შემცველობა მარცვლის ზომის მიხედვით უმნიშვნელოდ იცვლება.

დასკვნა. ჭიათურის მანგანუმის სამთო-მამდიდრებელი წარმოებების ნარჩენები (კუდები და შლამები) მანგანუმით მდიდარი (ΣMn 10–20%; Mn^{+4} 4–18%) ტექნოგენური ნედლეულია.

ქიმიური მეთოდით, ნედლეულში არსებული მანგანუმის ($Mn^{+4}/Mn \geq 0,4$) სრული უტილიზაციისათვის, მინერალურ მჟავებში უხსნარი MnO_2 -ის ხსნად Mn^{+2} -ის ნაერთებში გადასაყვანად აუცილებელია ეფექტური და ეკოლოგიურად შედარებით უსაფრთხო აღმდგენელის შერჩევა.

კუდების უტილიზაციის პროცესში უმჯობესია გამოყენებულ იქნეს გადამუშავების მეთოდი, რომელიც არ მოითხოვს წვრილფრაქციულ ნედლეულს და უტილიზაციის ტექნოლოგიურ სქემაში არ იქნება დაქუცმაცების ისეთი ეკოლოგიურად მძიმე და ენერგოტევადი სტადიები, როგორცაა დამსხვრევა, დაფქვა და მაღალტემპერატურული აღდგენა ან დადგინდეს გადამუშავების არსებული მეთოდისთვის ნედლეულის ოპტიმალურად უხეში დაქუცმაცების ზღვარი.

საკვანძო სიტყვები: ტექნოგენური ნედლეული; მადნის გამდიდრების ნარჩენები; კუდები და შლამები.

1. შესავალი

მანგანუმისა და მისი ნაერთების წარმოების გლობალური ზრდის ტემპიდან (წელიწადში 8–12%) გამომდინარე გარდაუვალია მანგანუმის სამთო-მამდიდრებელი წარმოებების შემდგომი განვითარება. ეჭვგარეშეა ეს გამოიწვევს ნარჩენების რაოდენობის მკვეთრ ზრდას და რთული ეკოლოგიური ვითარების ჩამოყალიბებას მათი დაგ-

როვების რეგიონებში. ამავე დროს, ნარჩენები ტექნოგენური ნედლეულია, რომლის გამოყენება მანგანუმის შემცველი მეორეული რესურსის სახით, ცხადია, დაკავშირებულია მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტთან.

ჭიათურის მანგანუმის საბადოს ექსპლუატაციის ხანგრძლივობა თითქმის 140 წელს ითვლის. ექსპერტების შეფასებით რეგიონში დაგროვილია 20–25 მლნ ტონა ნედლი მადნის გამდიდრების პროცესში წარმოქმნილი ნარჩენი შლამებისა და კუდების სახით. დღემდე ინტენსიურად გრძელდება არსებული საბადოების დამუშავება, პარალელურად მიმდინარეობს ახლის ათვისება, შესაბამისად მატულობს ნარჩენების რაოდენობა.

გასული საუკუნის 90-იან წლებამდე მანგანუმის ნედლი მადნის მექანიკური გამდიდრება გრავიტაციული და ფლოტაციური მეთოდებით მსხვილ ფაბრიკებში მიმდინარეობდა ტექნოლოგიური პარამეტრების სრული დაცვით, რის შედეგადაც ნარჩენებში მანგანუმის შემცველობა 8–12% შეადგენდა, ბოლო 30 წლის განმავლობაში ზოგიერთ წვრილ საწარმოში, მათი ტექნიკური შესაძლებლობებიდან გამომდინარე, ნარჩენებში მანგანუმის შემცველობა მკვეთრად გაიზარდა. თუ პირობითად დავუშვებთ, რომ ნარჩენებში საშუალო შემცველობა 12% შეადგენს, მივიღებთ, რომ ჭიათურის სამრეწველო აუზში დასაწყობებულია მანგანუმის ტექნოგენური ნედლეული, რომელშიც მანგანუმის შემცველობა არანაკლებ 2,4–3,0 მლნ ტონაა.

ამჟამად საწარმოო რეგიონში თითქმის ყველა მოქმედი ფაბრიკიდან მადნის გამდიდრების ტექნოლოგიურ ციკლში წარმოქმნილი შლამი სრული მოცულობით ჩაედინება მდინარე ყვირილასა და მის შენაკადებში, ხოლო კუდები გაიტანება მდინარე ნეკრესის ხეობაში. პრაქტიკულად ღია ცის ქვეშ მოქცეული წარმოების ნარჩენები კიდევ უფრო აუარესებს ისედაც რთულ ეკოლოგიურ ვითარებას.

ტექნოგენური ნედლეულის უტილიზაციის პრობლემა მოითხოვს ნარჩენების რეკუპერაციის რაციონალური მეთოდების შერჩევას და მათი რეციკლინგის ეკოლოგიურად უსაფრთხო და

ეკონომიკურად მომგებიანი ტექნოლოგიების დამუშავებას.

წარმოდგენილი სამუშაოს მიზანია ჭიათურის სამრეწველო აუზში არსებული და მოსალოდნელი ნარჩენების ქიმიური, მინერალოგიური და გრანულომეტრიული შედგენილობის კვლევა, ელექტროქიმიური გადამუშავების ოპტიმალური ტექნოლოგიის შემუშავების თვალსაზრისით.

2. ძირითადი ნაწილი

2.1. კვლევის მეთოდი

ჭიათურის სამთო-მამდიდრებელი წარმოების ნარჩენების საკვლევი ნიმუშების აღება ჩატარდა შემდეგ ლოკაციებზე: ნეკრესის ხეობა (კუდები); ღურღუმელას შლამსაცავი (შლამები); ცენტრალური დამყვანი ფაბრიკის ტერიტორია (კუდები); შპს „ლიდერი მანგანუმ ჯორჯიას“ ტერიტორია (კუდები); შპს „ლეჟუბანის“ ტერიტორია (კუდები); შპს „მალკოს“ ტერიტორია (კუდები, შლამები).

ნეკრესის ხეობიდან და გამამდიდრებელი ფაბრიკების ტერიტორიებიდან საკვლევი მასალის აღება ძირითადად განხორციელდა შემთხვევითი შერჩევით.

კერძოდ, ნეკრესის ხეობაში და ცენტრალური დამყვანი ფაბრიკის ტერიტორიაზე ერთმანეთისგან დაახლოებით 100 მეტრის დაშორებით შეირჩა 3–3 კვლევის ობიექტი. სულ აღებულ იქნა 30 სინჯი (750კგ). ცალკეული კვლევების ობიექტიდან (ადგილზე ხუთი მეტრის რადიუსში) აღებული 5 სინჯის გაერთიანების და ინტენსიური არევის შემდეგ მომზადებულ იქნა 6 საკვლევი ნიმუში (ცხრილი 1).

გამამდიდრებელი საწარმოებიდან საკვლევი მასალა აიღეს მადნის ორი განსხვავებული პარტიის მორეცხვის შემდეგ მიღებული ნარჩენებიდან. სინჯები აღებულ იქნა 4 მოქმედი საწარმოდან, აქედან ორი ნეკრესის ხეობაში განთავსების დროს (საწარმოს იდენტიფიცირება ვერ მოხერხდა) ე.წ. „ახალი ნაყარი“. სულ იყო 500 კგ-მდე საკვლევი მასალა (24 სინჯი), თითოეული „ადგილიდან“ აღებული სინჯების გაერთიანებისა და ინტენსიური არევის შემდეგ მოამზადეს 8 საცდელი ნიმუში (ცხრილი 2).

ღურღუმელას შლამსაცავიდან საკვლევი მასალა აღებულ იქნა შემდეგი სქემით (სურ.1):

- მონიშნეს ერთმანეთისაგან 60 მეტრის დაშორებით 900 მ² ფართობის (30მX30მ) სამი უბანი (A, B, C). თითოეული უბნის ზედაპირიდან ყოველი 10 მეტრის დაშორებით აიღეს 9 სინჯი, სულ 27 სინჯიდან – 135 კგ მასის საკვლევი მასალა. სინჯების გაერთიანების და ინტენსიური არევის შემდეგ მომზადდა ერთი საცდელი ნიმუში (ცხრილი 3, ნიმუში 1);

- სინჯები აიღეს ერთმანეთისაგან 30 მეტრის დაშორებით მონიშნულ A^I, B^I და C^I უბნის ოთხი სხვადასხვა სიღრმიდან (1, 2, 3, 4 მეტრი). თითოეული ჰორიზონტალური სიბრტყიდან აღებული საკვლევი მასალის (3X25=75 კგ) გაერთიანების და ინტენსიური არევის შემდეგ მომზადდა 4 საცდელი ნიმუში (ცხრილი 3, ნიმუში 2–5);

- სინჯები აიღეს ასევე A და C უბანში ამოღებული ორმოების კედლებიდან. საკვლევი მასალა აღებულ იქნა 3 მეტრი სიღრმის ორმოს კედლის ყოველი 35–40 სმ დაშორებით და კედლის ზედაპირიდან 10-15 სმ სიღრმის ჭრილიდან. ორმოს ფსკერიდან ნიმუშების აღება მოხდა გაბურღვით, ნიმუშის ასაღები სპეციალური მოწყობილობით (ბიჯი 20 სმ). ყველაზე ღრმა წერტილი, საიდანაც ნიმუში აიღეს ორმოს ფსკერიდან 2,2 მეტრია, შესაბამისად შლამსაცავის ზედაპირიდან ≈5,35მ (ცხრილი 4).

ნიმუშების აღების მოცემული სქემით შესაძლებელი გახდა ელემენტების შემცველობის სტატისტიკური მონაცემების მიღება 1350 კგ მასის კუდებიდან და 40 მ³- ზე მეტი (90 X 83,2 X 5,35 მ) მოცულობის შლამიდან.

კვლევის პროცესში ანალიზების მონაცემები დამუშავდა საშუალო კვადრატული გადახრისა და სტანდარტული გადახრის განსაზღვრით:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

სადაც n ნიმუშების რაოდენობაა, \bar{X} – საშუალო მნიშვნელობა, X_i – “i” ნიმუშის შემცველობა.

კვლევის ობიექტებში (კუდები და შლამები) მანგანუმშემცველი ოქსიდური მინერალების მასური წილის დასადგენად განხორციელდა 50გ მასის საცდელი ნიმუშების 50–55 გ/ლ კონცენტრაციის მინერალური მჟავებით (HNO₃, H₂SO₄ და HCl) დამუშავება და მიღებული ნალექების ელემენტური და ფაზური შედგენილობის განსაზღვრა. დაკვირვების ობიექტებად შერჩეული ნიმუშის ნაწილაკების ზომა 0,3 სმ არ აღემატებოდა. გამოტუტვის ხანგრძლივობა ყველა ექსპერიმენტში იყო 3 საათი (ცხრილი 5).

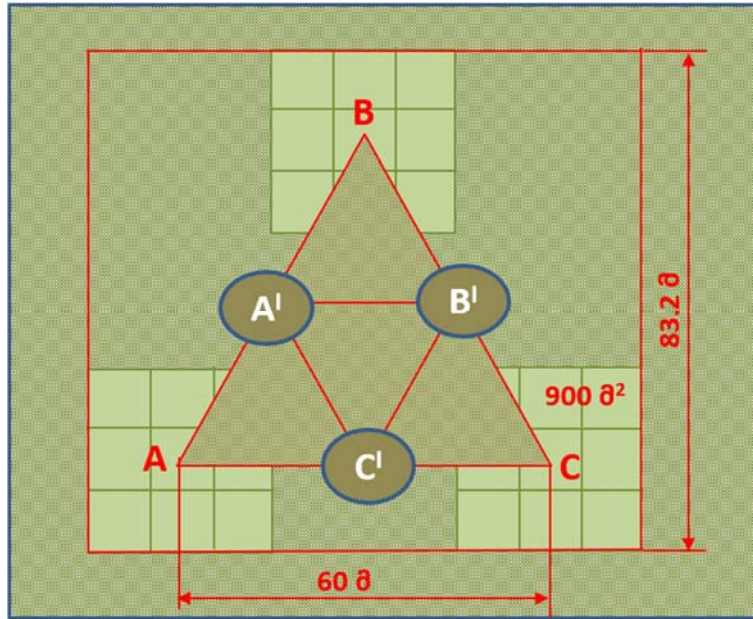
ნიმუშებში მანგანუმის Mn⁺² და Mn⁺⁴ ნაერთების შემცველობა განისაზღვრა ქიმიური რაოდენობრივი ანალიზებით (ГОСТ 25823-83).

ელემენტური და ფაზური შედგენილობა განისაზღვრა ინსტრუმენტული ანალიზის მეთოდებით (რენტგენოფლოუორესცენციული, თერმული და რენტგენოფაზური) რ. აგლამის სახელობის არაორგანული ქიმიისა და ელექტროქიმიის ინსტიტუტის ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზისა და ნ. ლანდიას სახელობის თერმოქიმიის ლაბორატორიებში.

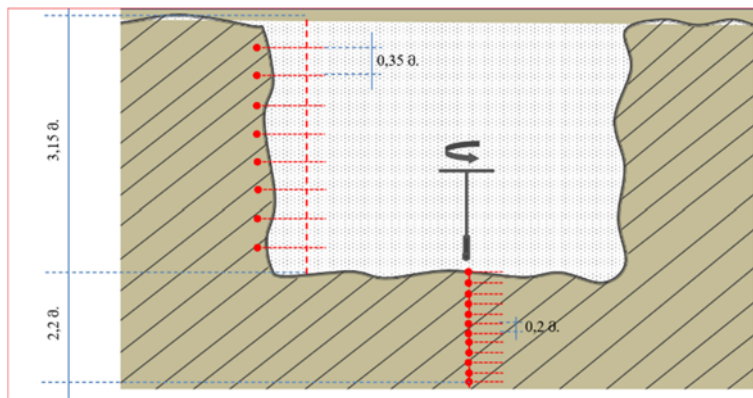
რენტგენოფაზური კვლევა განხორციელდა DPOH-3M დიფრაქტომეტრის გამოყენებით. რენტგენოგრამები გადაღებულია Cu-Kα გამოსხივებით 2θ = 20° - 65° დიაპაზონში. მონაცემები წარმოდგენილია მე-6 ცხრილში (d_{hkl}- სიბრტყეთა შორის მანძილია Å-ში, I/I₀- ფარდობითი ინტენსივობა) და რენტგენოგრამების (სურ. 2–8) სახით.

თერმოგრაფიმეტრიული კვლევა ჩატარდა NETZSCH STA 2500 Regulus მარკის თერმოანალიზატორზე. ნიმუშები თერმულად დამუშავდა ჰაერის ატმოსფეროში 20–1000°C ტემპერატურულ ინტერვალში 10°C/წთ სიჩქარით. ექსპერიმენტის მონაცემების დამუშავება მოხდა პროგრამა Proteus-ის გამოყენებით. ნიმუშების კვლევის პროცესში ჩაწერილი თერმოგრამების ანალიზის შედეგები წარმოდგენილია მე-9 სურ-ზე.

ნარჩენების გრანულომეტრიული შედგენილობის კვლევა განხორციელდა გაცრითი მეთოდით (ALTAIR PLUS, C/JM-200) (ცხრ. 7–10).



1



2

სურ. 1. ლურღუმელას ტბის მიმდებარე ტერიტორიაზე ნიმუშების აღების სქემა: 1. ზედაპირიდან, 2. ჭრილში

2.2. შედეგები

[1-5]-ის მონაცემებით, ჭიათურის საბადოს მადნებში მანგანუმი ძირითადად წარმოდგენილია შემდეგი მინერალების სახით: პიროლუზიტი MnO_2 , ფსილომელანი $RO \cdot MnO_2 \cdot nH_2O$ ($R-Mn^{+2}$, K, Ca, Ba, Cu, Pb და სხვა, მანგანიტი $MnOOH$, ბრაუნიტი $3Mn_2O_3 \cdot MnSiO_3$, ჰაუსმანიტი Mn_3O_4 , როდოქროზიტი $MnCO_3$ და მანგანუმის კალციტი $(Ca, Mn)CO_3$. აღნიშნული მინერალების ფრაგმენტები მადნებში არსებულ სხვა არამადნურ მინერალებთან (კვარცი, მინდვრის შპატი, კალციტი, ბარიტი, გლაუკონიტი) ერთად გვხვდება მადნის გამდიდრების პროცესში დაგროვილ ნარჩენებში

(შლამებსა და კუდებში). კვლევის შედეგები შესაბამისობაშია ზემოთ აღნიშნულ ინფორმაციასთან.

ქიმიური და რენტგენოფლოუორესცენციული ანალიზის მომაცემების მიხედვით:

- ცდგ-ისა და ნეკრესის ხეობაში არსებულ ე.წ. ძველ ნარჩენებში მანგანუმის შემცველობა $12 \pm 1,31\%$, აქედან MnO_2 $55 \pm 0,11\%$ (ცხრ.1);
- ნეკრესის ხეობაში ახლად შეტანილ და მოქმედი გამამდიდრებელი ფაბრიკის ტერიტორიაზე დაგროვილ კუდებში Mn - $17,91 \pm 3,59\%$ ფარგლებშია და ძირითადად ($88 \pm 7\%$) MnO_2 სახით (ცხრ.2);

- დახურული შლამსაცავის-ღურღუმელას ტბის მიმდებარე ტერიტორიიდან აღებულ ნიმუშებში Mn - $11,24 \pm 1,12$ % არ აღემატება, MnO_2 – $63 \pm 7\%$ (ცხრ.3,4);

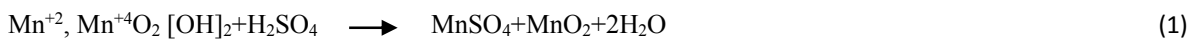
- მინერალურ მჟავებში ხსნადი, მანგანუმის დაბალვალენტოვანი Mn(II,III) ნაერთების შემცველობა, ადრე ფორმირებულ ნარჩენებში (24-27% - კუდი ცდფ-დან, შლამი 28-30% შლამი ღურღუმელას შლამსაცავიდან) გაცილებით მაღალია ე.წ. ახლად ფორმირებულ (1-7 % - კუდი ნეკრესის ხეობიდან) ნარჩენებთან შედარებით (ცხრ.5).

ამერიკული კარტოთეკას ASTM-ის მიხედვით ჩვენ მიერ გამოკვლეულ ყველა ნიმუშში ფიქსირდება მინერალ პიროლუზიტის β - MnO_2 , კვარცის SiO_2 , ბუსტამიტის $(Ca,Mn)_3Si_3O_9$ შესაბამისი ფაზები. ადრე ფორმირებულ ნარჩენების ნიმუშებში, როგორცაა ნეკრესის, ცდფ-სა და ღურღუმელას შლამსაცავიდან ნიმუშები, დამატებით ფიქსირდება მინერალ როდოქროზიტის $MnCO_3$ და ალუ-

მინსილიკატების ($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$, $CaAl_2Si_2O_8$) შესაბამისი ფაზები (ცხრ.6, სურ.2-8);

რენტგენოფაზური ანალიზით ნიმუშებში დაფიქსირებული მინერალების ატმოსფეროში $1000^\circ C$ -მდე გახურებისას, მასის კლებით გარდაქმნას განიცდის როდოქროზიტი და პიროლუზიტი: $350-550^\circ C$ ფარგლებში $MnCO_3$ იშლება CO_2 -ის გამოყოფით; $600-700^\circ C$ ტემპერატურულ ინტერვალში β - MnO_2 გადადის β - Mn_2O_3 (β -კურნაკიტში); $950-1050^\circ C$ ფარგლებში წარმოიქმნება β - Mn_3O_4 (β -ჰაუსმანიტი); $200-500^\circ C$ ფარგლებში მასის კლებით მიმდინარეობს აგრეთვე არასტექიომეტრიული ოქსიდების შემცველი მინერალების, მანგანიტისა და ფსილომელანის გარდაქმნა [7,8].

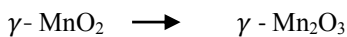
კვლევის პროცესში გათვალისწინებულ იქნა მინერალურ მჟავებთან ურთიერთქმედების მანგანუმის ოქსიდებისთვის დამახასიათებელი რეაქცია, რომლის მიხედვით აქტიური ჟანგბადის შემცველობა საწყის ნიმუშსა და მიღებულ პროდუქტებში ერთნაირია (რეაქცია 1):



მანგანუმის კარბონატი და მანგანიტები $300-500^\circ C$ ფარგლებში იშლება შემდეგი რეაქციებით:



სხვადასხვა მოდიფიკაციის მანგანუმის დიოქსიდის დაშლა მიმდინარეობს $500-800^\circ C$ ტემპერატურულ ინტერვალში:



აღნიშნულის გათვალისწინებით, შეირჩა კვლევის ობიექტები (კუდები, შლამები), ე.ი. ნარჩენები, რომლებშიც რენტგენოფაზური ანალიზით ფიქსირდება როდოქროზიტის ფაზა და ნარჩენები, რომლებშიც არ ფიქსირდება. მათი საწყისი და H_2SO_4 დამუშავებული ნიმუშების თერმოგრაფიმეტრიული ანალიზის მონაცემების (სურ.9,10,11) შეჯერებით დაზუსტებულ იქნა ფაზური შედგენილობა (ცხრილი 5) – ნიმუშში ნეკრესის ხეობიდან (ე.წ. „ახალი ნყარი“), რენტგენოფაზური ანალიზის შესაბამისად, არ დადასტურდა მანგანუმის კარბონატის შემცველობა, მანგანუმის ოქსიდური ფორმა წარმოდგე-

ნილია მინერალ პიროლუზიტის 12,24% და მანგანიტის 16,2% ფაზებით, მასში არსებული მანგანუმის 90% MnO_2 -ს სახითაა. ნარჩენებში (ნიმუში ცდფ-იდან და შლამი) მანგანუმი წარმოდგენილია მინერალ როდოქროზიტის, პიროლუზიტის და მანგანიტის სახით. მათში ჰიდრატირებული წყლის შედარებით მაღალი (10-12%) შემცველობა მიუთითებს მანგანიტის ნაწილობრივ ჩანაცვლებას ფსილომელანით $mRO \cdot MnO_2 \cdot nH_2O$. მანგანუმის მაღალვალენტოვანი ოქსიდის შემცველობა 40-50% ფარგლებშია.

კვლევის მონაცემებით, ჯამური მანგანუმისა და MnO_2 შემცველობა მოქმედი საწარმოებიდან აღე-

ბულ ნიმუშებში გაცილებით მაღალია, რეგიონში არსებული ნარჩენებიდან აღებულ ნიმუშებთან შედარებით. ნარჩენებში ჯამური მანგანუმის ($\Sigma Mn 10-20\%$) და მანგანუმის დიოქსიდის ($Mn^{+4} 40-80\%$) კონცენტრირება დამოკიდებულია მადნის შედგენილობასა და მორეცხვის სიღრმეზე.

გაცრითი მეთოდით ნარჩენების გრანულომეტრიული შედგენილობის კვლევის მონაცემებით: შლამებში 3,2მმ მაღალი კლასის ზომის ფრაქციის შემცველობა $6,27 \pm 3,22\%$ (ცხრ. 7); კუდებში აღნიშნული კლასის ზომის ფრაქციის შემცველობა: ნიმუში ცდფ ტერიტორიიდან – 59,92%; ნიმუში ნეკრესის ხეობიდან „ძველი“ – 42,37%; ნიმუში მოქმედი გამამდიდრებელი საწარმოდან შეტანილი ნეკრესის ხეობაში („ახალი ნაყარი“) – 37,93% (ცხრ. 8); ფრაქციების მიხედვით მანგანუმის შემცველობის საშუალო მნიშვნელობიდან სტანდარტული გადახრა კუდებში – 0,34%, შლამებში – 0,92%.

ამგვარად, კუდები, ფორმირების განსხვავებული პირობების მიუხედავად შლამებთან შედარებით გაცილებით მსხვილფრაქციულია. ორივე ნარჩენში მანგანუმის შემცველობა მარცვლის ზომის მიხედვით უმნიშვნელოდ იცვლება.

დასკვნა

ჭიათურის მანგანუმის სამთო-მამდიდრებელი წარმოებების ნარჩენები (კუდები და შლამები) მანგანუმით მდიდარი ($\Sigma Mn 10-20\%$; $Mn^{+4} 4-18\%$) ტექნოგენური ნედლეულია. მათი, როგორც მეორეული რესურსის, გამოყენება შეიძლება განხორციელდეს განმეორებითი მექანიკური და ქიმიური გამდიდრების გზით. ტექნოლოგიური მიმართულების შერჩევასა და გასათვალისწინებელია გადამუშავების შედეგად მიღებულ პროდუქტებში განსხვავება: განმეორებითი მექანიკური გამდიდრების შედეგად მიიღება მანგანუმის უფრო მაღალი შემცველობის მადნის კონცენტრატი, ხოლო ქიმიური გადამუშავებით შესაძლებელია ისეთი მაღალი დამატებითი ღირებულების პროდუქტების წარმოება, როგორცაა ელექტროლიზური ლითონური მანგანუმი, ელექტროლიზური მანგანუმის დიოქსიდი, მანგანუმის სულფატის მონოჰიდრატი და მანგანუმის სხვა ნაერთები.

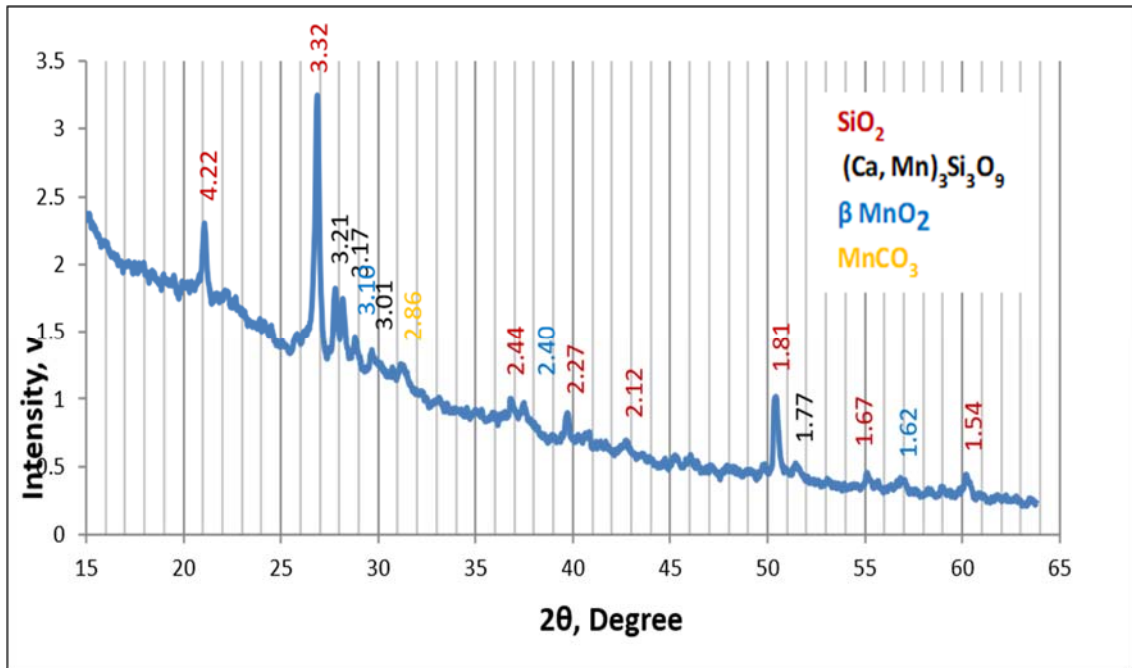
ქიმიური მეთოდით, ნედლეულში არსებული მანგანუმის ($Mn^{+4}/Mn \geq 0,4$) სრული უტილიზაციის მინერალურ მჟავებში უხსნარი MnO_2 -ის ხსნად Mn^{+2} -ის ნაერთებში გადასაყვანად აუცილებელი პირობაა ეფექტური და ეკოლოგიურად შედარებით უსაფრთხო აღმდგენელის შერჩევა.

კუდების უტილიზაციის პროცესში უმჯობესია გამოყენებულ იქნეს გადამუშავების მეთოდი, რომელიც არ მოითხოვს წვრილფრაქციულ ნედლეულს და უტილიზაციის ტექნოლოგიურ სქემაში არ იქნება დაქუცმაცების ისეთი ეკოლოგიურად მძიმე და ენერგოტევადი სტადიები, როგორცაა დამსხვრევა, დაფქვა და მაღალტემპერატურული აღდგენა ან დადგინდეს გადამუშავების არსებული მეთოდისთვის ნედლეულის ოპტიმალურად უხეში დაქუცმაცების ზღვარი.

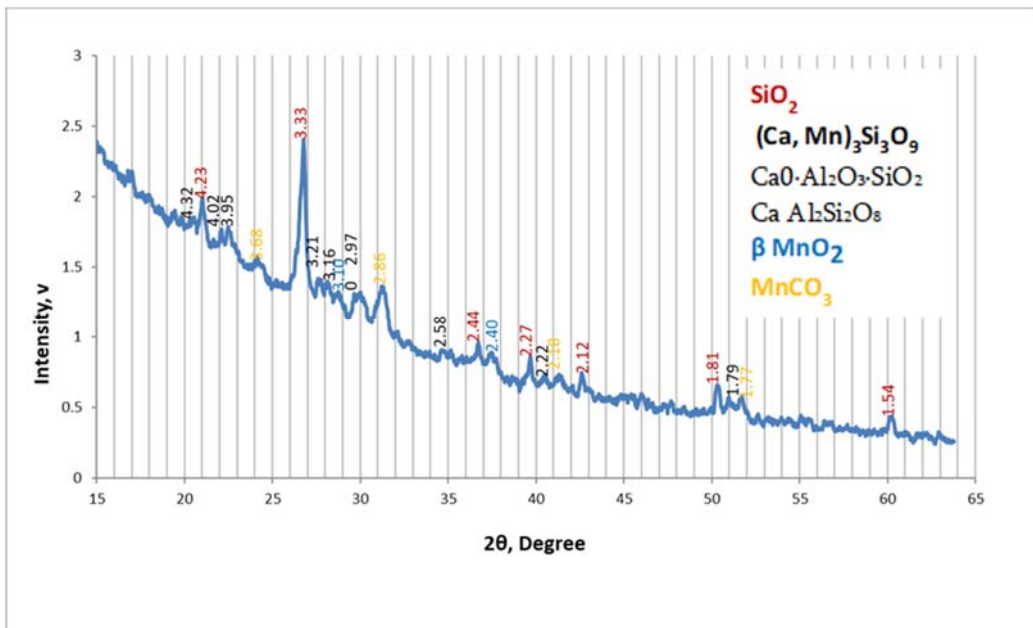
სამუშაო შესრულებულია საქართველოს რესპუბლიკის შ. რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით, გრანტი AR-18-281

ლიტერატურა

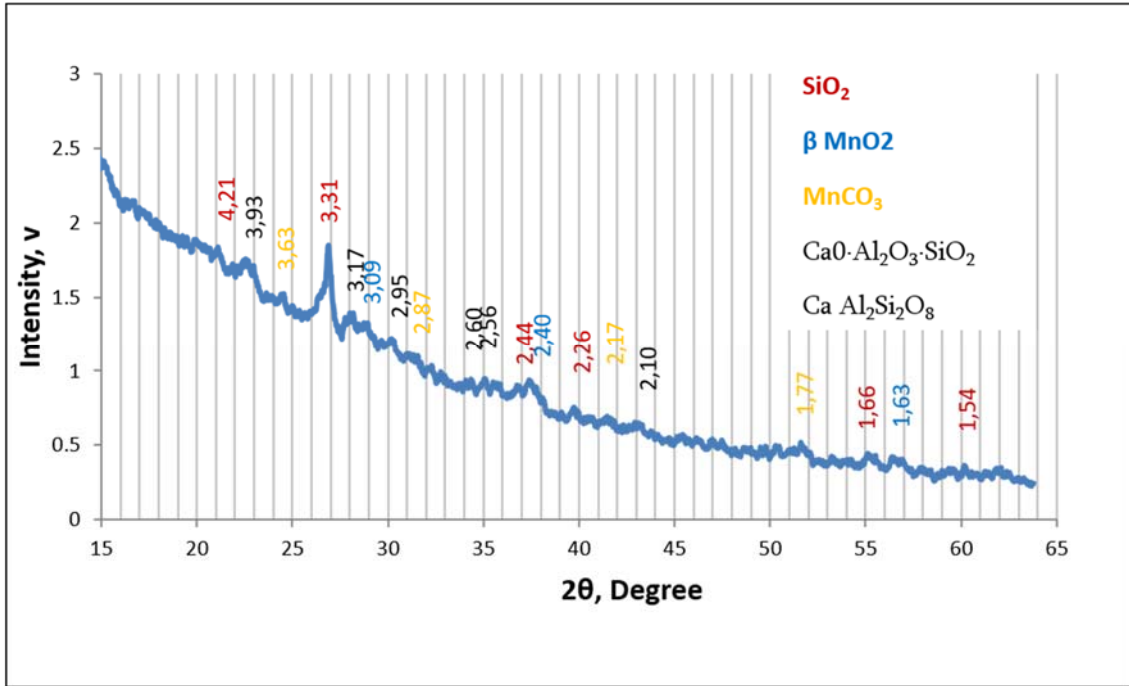
1. Бетехтин А.Г. Чиатурское марганцевое месторождение и его промышленная характеристика. //Тр.ЦНИГРИ, 1936. вып 60, 46с.
2. Бетехтин А.Г.,Авалиани Г.А. Чиатурское месторождение марганца.//М.,Недра, 1964г.
3. Дзоценидзе Г.С. О генезисе Чиатурского месторождения марганца./Литология и полезные ископаемые.//1965, №1, с.3-17
4. Природные ресурсы Грузии и проблемы рационального использования // Тб. „Мецნიერება“. 1991 г. Стр. 680.
5. დ. კოტრიკაძე, ნ. რაჭველიშვილი. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება. შრომები, ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2010, გვ. 6-8.
6. Минералы, справочник Т.П// Изд. Наука, Москва 1965.
7. Е. С. Базилевская. Химико-минералогическое исследование марганцевых руд. Изд. Наука, Москва 1976.



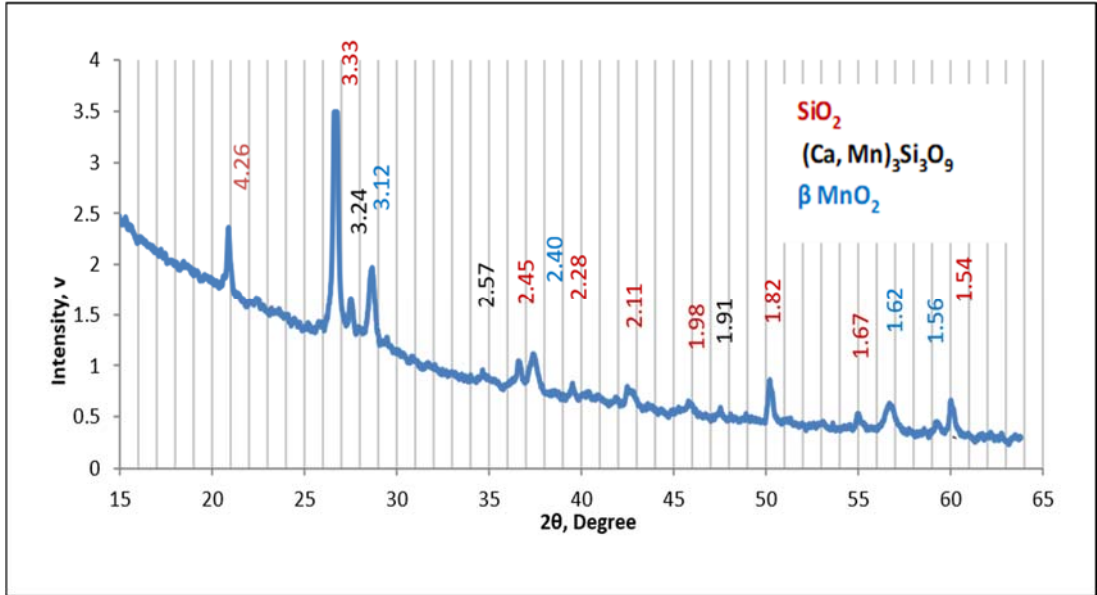
სურ. 2. ნიმუში (კული) ნეკრესის ხეობიდან (მველი)



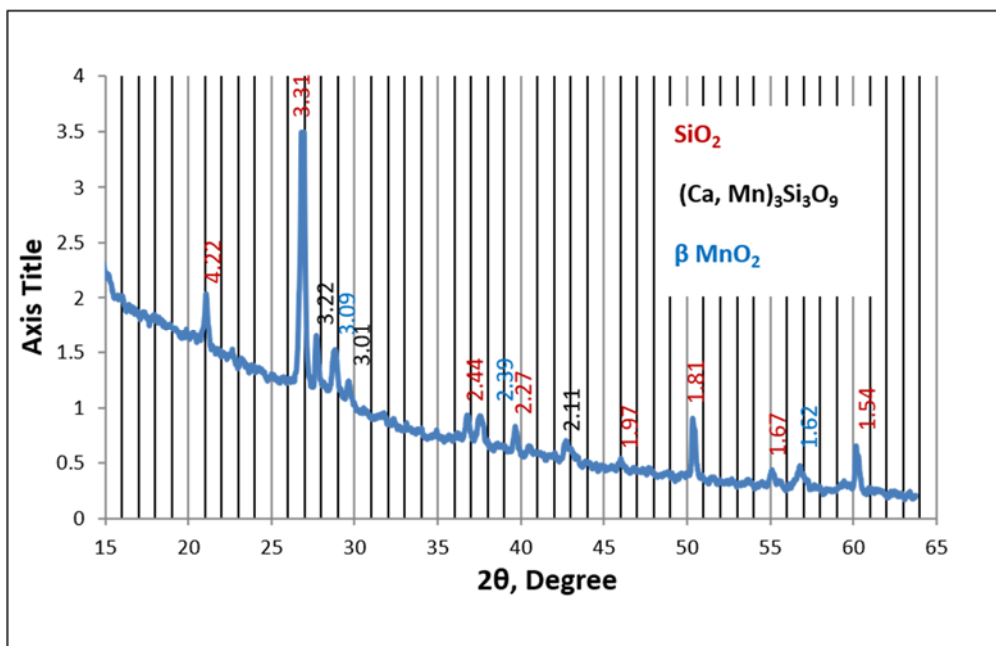
სურ. 3. ნიმუში (კული) ცდგ ტერიტორიიდან



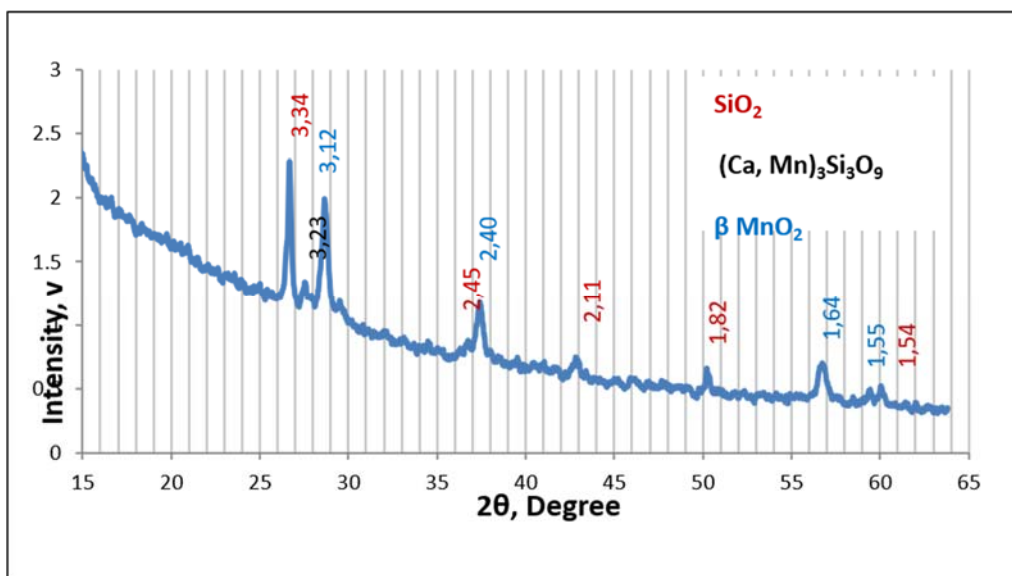
სურ. 4. ნიმუში (შლამი) ღურღუმელას შლამსაცავიდან



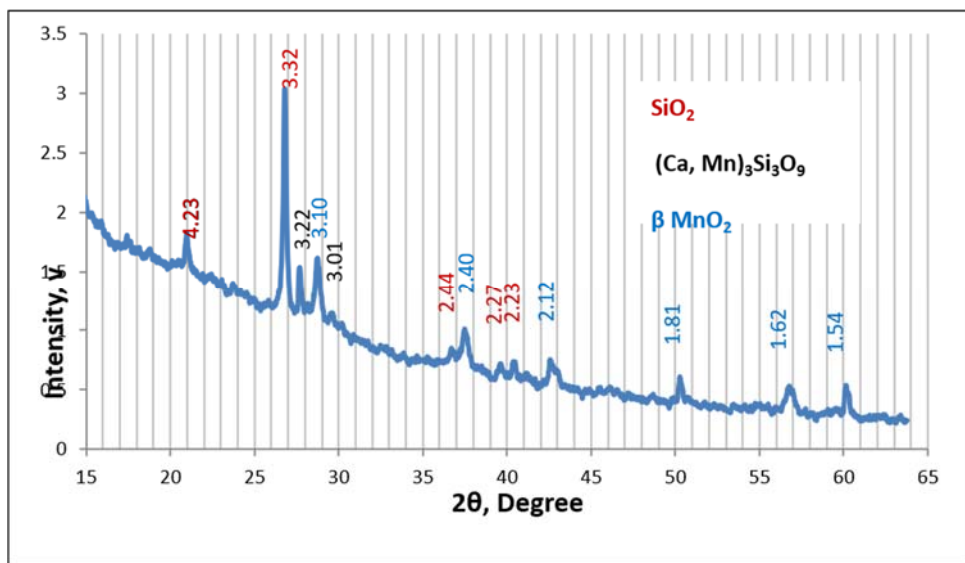
სურ. 5. ნიმუში (კუდი) ნეკრესის ხეობიდან (ახალი ნაყარი)



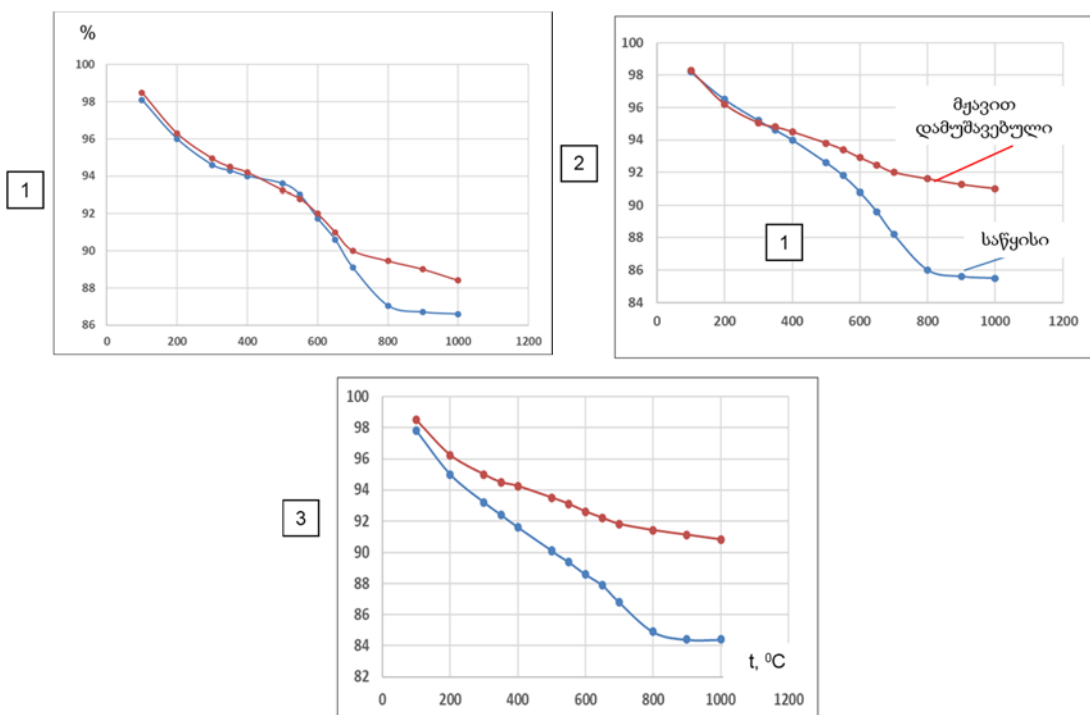
სურ. 6. ნიმუში (კუდი) შპს ლეჯუბნიდან



სურ.7. ნიმუში (კუდი) შპს „ლიდერი მანგანუმ ჯორჯიადან“



სურ. 8. ნიმუში (კული) შპს „მალკოდან“



სურ. 9. ნიმუშის მასის ცვლილება ტემპერატურის მიხედვით.
 1. კული ნეკრესის ხეობიდან (ახალი ნაყარი); 2. კული ცდგ-დან;
 3. შლამი ღურღუმელას შლამსაცავიდან

ნეკრესის ხეობის და ცენტრალური დამცვანი ფაბრიკის კუდების ნიმუშების კვლევა

დასახელება	ნიმუშების შედგენილობა, %						საშუალო	S
	ნეკრესის ხეობა			ცენტრალური დამცვანი ფაბრიკა				
	1	2	3	4	5	6		
Mn	14,26	12,76	11,02	10,14	11,9	12,55	12,11	1,31
MnO ₂	14,99	11,38	11,34	10,16	6,65	9,21	10,62	2,52
Mn ⁴⁺ /Mn	0,66	0,56	0,65	0,63	0,35	0,46	0,55	0,11
Mn	14,96	11,93	11,30	14,07	11,50	12,90	12,78	1,35
Mg	0,48	0,18	0,86	0,00	0,89	0,86	0,55	0,35
Al	3,11	2,91	4,9	2,57	3,7	3,51	3,45	0,75
Si	17,98	17,13	30,56	18,35	29,09	25,62	23,12	5,51
P	0,15	0,13	0,14	0,15	0,13	0,15	0,14	0,01
K	1,53	1,45	2,05	1,38	1,8	1,74	1,66	0,23
Ca	4,26	4,09	5,11	4,03	4,75	7,13	4,89	1,07
Fe	2,20	1,89	2,57	2,22	2,27	2,15	2,22	0,20
Ni	0,00	0,00	0,24	0,01	0,2	0,21	0,11	0,11
Ba	0,56	0,68	0,32	1,22	0,42	0,88	0,68	0,30
სხვა დანარჩენი	54,77	59,61	41,95	56,00	45,25	44,85	50,405	6,63

მადნის გამრეცხი საწარმოებიდან აღებული კუდების ნიმუშების კვლევა

დასახელება	ნიმუშების შედგენილობა, %												საშუალო	S	
	ნეკრესის ხეობა (გამრეცხი საწარმო უცნობია)		შპს ლიდერი მანგანუმფორჯია		შპს ლეჟუბანი		შპს მაღო								
	1	2	3	4	5	6	7	8							
Mn	18,40	20,35	17,72	12,23	14,38	16,85	18,35	25,03	17,91					3,59	
MnO ₂	28,69	29,97	26,66	15,54	18,66	22,75	25,80	31,40	24,93					5,21	
Mn ⁺⁺ /Mn	0,98	0,93	0,95	0,80	0,82	0,85	0,89	0,79	0,88					0,07	
Mn	18,07	19,36	18,47	12,45	14,02	17,56	17,97	24,84	17,84					3,46	
Mg	4,79	0,61	0,94	0,00	0,93	0,00	0,00	0,00	0,91					1,52	
Al	1,84	2,37	3,72	2,85	2,72	1,98	1,62	0,66	2,22					0,86	
Si	21,9	15,03	23,72	19,98	27,98	18,29	5,96	5,32	17,27					7,60	
P	0,67	0,09	0,15	0,13	0,18	0,14	0,19	0,15	0,21					0,18	
K	1,79	1,05	1,66	1,82	1,91	1,19	1,17	1,16	1,47					0,33	
Ca	4,56	1,9	2,82	1,49	4,03	3,16	9,06	5,38	4,05					2,25	
Fe	2,18	3,19	3,06	2,89	2,35	3,24	0,72	3,35	2,62					0,82	
Ni	0,00	0,42	0,36	0,00	0,24	0,00	0,00	0,02	0,13					0,17	
Ba	0,00	0,00	1,04	1,44	0,00	5,89	5,31	6,05	2,47					2,60	
სხვა დანარჩენი	44,20	55,98	44,06	56,95	45,64	48,55	58,00	53,07	50,81					5,50	

ლურღუმელას შლამსაცვის ნიმუშების კვლევა

იბრანე იბრანე	დასახელება	ნიმუშების შედგენილობა, %						
		ზედაპირი	1 მ სიღრმიდან	2 მ სიღრმიდან	3 მ სიღრმიდან	4 მ სიღრმიდან	საშუალო	S
იბრანე იბრანე	Mn	9,53	11,98	10,52	11,46	12,72	11,24	1,12
	MnO ₂	10,60	10,78	10,02	10,35	12,48	10,846	0,86
	Mn ⁺⁺ /Mn	0,70	0,57	0,66	0,69	0,53	0,63	0,07
იბრანე იბრანე	Mn	9,74	12,48	10,99	11,35	13,18	11,55	1,20
	Mg	0,10	0,49	0,20	0,04	0,11	0,19	0,16
	Al	3,27	3,76	2,91	2,78	2,82	3,11	0,37
	Si	20,31	17,14	16,59	16,88	17,21	17,63	1,36
	P	0,19	0,14	0,13	0,13	0,14	0,15	0,02
	K	1,51	1,68	1,47	1,49	1,38	1,50	0,10
	Ca	4,03	2,98	3,81	2,94	3,51	3,45	0,44
	Fe	3,82	3,69	2,64	2,63	2,65	3,08	0,55
	Ni	0,09	0,06	0,02	0,01	0,01	0,04	0,03
	Ba	1,35	1,04	0,90	0,41	1,17	0,97	0,32
	სხვა დანარჩენი	55,59	56,54	60,34	61,34	57,82	58,33	2,19

ლურდუმელას შლამსაცავის ნიმუშების კვლევა (სინჯები აღებულია A და C უბანში ვერტიკალურ კრილში)

ანალიზის მეთოდი	ქიმიური ანალიზი				რენტგენოფლორესცენციული ანალიზი											
	Mn	MnO ₂	Mn ⁺⁺ /Mn	Mn	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Fe	Ni	Ba	სხვა დანარჩენი		
ნიმუშის №	ნიმუშის შედგენილობა, %															
1	10,22	10,58	0,66	10,15	0,24	3,25	16,46	0,15	1,68	3,08	3,09	0,03	0,65	61,22		
2				11,58	0,06	2,79	16,45	0,14	1,43	3,34	2,64	0,01	0,67	60,89		
3	12,50	10,02	0,51	12,28	0,08	2,97	17,86	0,11	1,72	2,42	2,73	0,01	0,27	59,55		
4				11,97	0,27	3,52	16,47	0,16	1,66	2,89	3,54	0,03	0,51	58,98		
5	12,46	8,30	0,42	12,28	0,08	3,17	14,98	0,13	1,61	2,89	3,21	0,03	1,35	60,27		
6				10,78	0,00	2,47	15,24	0,16	1,37	3,49	2,53	0,00	2,06	61,90		
7	9,60	7,42	0,49	9,54	0,00	2,48	16,02	0,13	1,44	3,1	2,56	0,01	0,79	63,93		
8				9,49	0,04	2,86	16,56	0,14	1,3	2,94	2,66	0,01	1,27	62,73		
9	9,80	7,85	0,51	10,30	0,08	2,88	15,98	0,14	1,48	2,76	2,82	0,02	1,35	62,19		
10				9,44	0,1	2,95	16,99	0,13	1,50	2,72	2,51	0,00	1,06	62,60		
11				9,11	0,29	3,29	17,37	0,14	1,57	2,87	2,60	0,01	0,62	62,13		
12	8,40	5,98	0,45	8,61	0,05	3,01	16,62	0,12	1,63	2,57	2,68	0,00	0,89	63,82		
13				8,66	0,27	3,33	16,99	0,13	1,65	2,76	2,67	0,03	1,26	62,25		
14				9,08	0,08	3,00	15,95	0,12	1,41	2,71	2,98	0,02	1,34	63,31		
15				9,00	0,18	3,16	17,00	0,13	1,77	2,69	2,57	0,01	1,45	62,04		
16	9,20	7,21	0,5	9,87	0,08	2,93	15,41	0,13	1,50	2,82	3,14	0,02	2,02	62,08		
17				9,83	0,21	3,18	17,00	0,13	1,59	2,88	2,66	0,01	1,32	61,19		
18				10,62	0,08	2,85	16,04	0,13	1,45	2,92	2,80	0,01	1,92	61,18		
19				10,26	0,01	2,90	15,02	0,13	1,53	2,94	2,67	0,01	1,48	63,05		
20	8,00	7,17	0,57	8,04	0,17	3,19	16,99	0,13	1,60	2,76	2,78	0,03	0,55	63,76		
საშუალო	10,02	8,07	0,51	10,04	0,12	3,01	16,37	0,13	1,54	2,88	2,79	0,02	1,14	61,95		
S	1,57	1,44	0,07	1,20	0,09	0,26	0,77	0,01	0,12	0,24	0,26	0,01	0,50	1,33		

ნიმუშების ქიმიური და თერმოგრავემეტრიული ანალიზის შედეგები

ანალიზის მეთოდი	ქიმიური			თერმოგრავემეტრიული						
	Mn, %	MnO ₂ , %	Mn ⁺⁺ /Mn	Mn, %	Mn ⁺⁺ /Mn	H ₂ O ჰიგრ.	H ₂ O ჰიდრატ. %	MnCO ₃ , %	MnO ₂ , %	Mn ²⁺ , Mn ⁴⁺ [OH] _n , %
ნიმუში	22,21	28,44	0,81	22,9	0,8	1,9	4,5		16,2	12,2
კუდი ნეკრესის ხეობიდან (ახალი)										
ბუნებრივი	H ₂ SO ₄	21,56	0,83							
	HCl	21,27	0,83							
	HNO ₃	23,76	0,83							
კუდი ცდგ -დან	14,05	14,00	0,63	19,87	0,50	1,8	10	12, 81	9,79	12,1
ბუნებრივი	H ₂ SO ₄	10,95	0,87							
	HCl	11,94	0,86							
	HNO ₃	12,71	0,87							
შლამი ღურღმელას შლამსაცვიდან	10,38	7,35	0,47	11,7	0,44	2,2	12	9,41	5	6,6
ბუნებრივი	H ₂ SO ₄	8,34	0,85							
	HCl	7,64	0,85							
	HNO ₃	8,46	0,85							

ჭიათურის სამთო-მამდიდრებელი ნარჩენების ნიმუშების რენტგენოფაზური კვლევა

	β -MnO ₂		MnCO ₃		SiO ₂		(Ca, Mn) ₃ Si ₃ O ₉		CaO·Al ₂ O ₃ ·SiO ₂		Ca Al ₂ Si ₂ O ₈	
	I/I ₀	d _d /n, A	I/I ₀	d _d /n, A	I/I ₀	d _d /n, A	I/I ₀	d _d /n, A	I/I ₀	d _d /n, A	I/I ₀	d _d /n, A
ნიმუშების შემადგენელ ფაზათა დიფრაქციული მახასიათებლები ამერიკული კარტოთეკის - ASTM (American Society for Testing and Materials) მიხედვით	100	3,11	35	3,66	35	4,26	17	7,44	17	8,60	1	6,81
	55	2,407	100	2,84	100	3,343	40	3,72	18	4,98	60	4,04
	16	2,110	20	2,30	12	2,458	30	3,429	11	4,12	55	3,26
	55	1,6234	27	2,172	12	2,282	100	3,225	18	3,26	35	3,21
	14	1,5554	23	2,000	17	1,817	30	3,014	30	3,03	100	3,20
	20	1,306	12	1,829	15	1,541	35	2,641	100	2,070	75	3,18
	20	1,3045	30	1,770	11	1,375	25	2,480	30	2,874	45	3,12
	11	0,9998	33	1,763	9	1,372	50	2,243	20	2,292	25	2,453
	ASTM-24-735		ASTM - 7-268		ASTM - 5-0490		ASTM - 26-1066		ASTM-25-1456		ASTM-12-301	
	კუდი ნეკრესის ხეობიდან (ძველი), სურ. 2	β -MnO ₂		MnCO ₃		SiO ₂		(Ca, Mn) ₃ Si ₃ O ₉				
კუდი ცდგ ტერიტორიიდან, სურ. 3	β -MnO ₂		MnCO ₃		SiO ₂		(Ca, Mn) ₃ Si ₃ O ₉		CaO·Al ₂ O ₃ ·SiO ₂		Ca Al ₂ Si ₂ O ₈	
შლამი ლურლუმელას შლამსაცვიდან, სურ. 4	β -MnO ₂		MnCO ₃		SiO ₂		(Ca, Mn) ₃ Si ₃ O ₉		CaO·Al ₂ O ₃ ·SiO ₂		Ca Al ₂ Si ₂ O ₈	
კუდი ნეკრესის ხეობიდან (ახალი), სურ.5	β -MnO ₂				SiO ₂		(Ca, Mn) ₃ Si ₃ O ₉					
კუდი „შპს ლეუქნიდან“, სურ. 6	β -MnO ₂				SiO ₂		(Ca, Mn) ₃ Si ₃ O ₉					
კუდი შპს „ლიდერი მანგანუმ ჯორჯიადან“, სურ. 7	β -MnO ₂				SiO ₂		(Ca, Mn) ₃ Si ₃ O ₉					
შლამი შპს „მალკოდან“, სურ.8	β -MnO ₂				SiO ₂		(Ca, Mn) ₃ Si ₃ O ₉					

ცხრილი 7

სხვადასხვა ლოკაციიდან აღებული კუდების გაცრითი
ანალიზის შედეგები

საცრის კლასის ზომა , მმ	ცალკეული კლასების გამოსავალი,%			საშუალო	S
	ნეკრესის ხეობა ძველი	ნეკრესის ხეობა ახალი	ცდვ		
>10	11,76	15,51	25,13	17,46	5,631
10 - 7	8,23	3,45	10,58	7,42	2,966
7- 6	9,4	5,18	9,26	7,95	1,957
6 - 4	7,1	3,44	9,26	6,6	2,402
4 - 3,2	5,88	10,35	5,29	7,17	2,259
3,2 - 2,2	11,76	15,86	10,58	12,73	2,263
2,2 - 0,9	27,06	25,34	18,52	23,64	3,688
0,9 - 0,56	14,11	14,46	9,26	12,61	2,373
0,56 - 0,25	2,35	3,79	1,06	2,4	1,115
<0,25	2,35	2,42	1,06	1,94	0,625

ცხრილი 8

მანგანუმის შემცველობა
ფრაქციების მიხედვით კუდში
ნიმუში ნეკრესის ხეობიდან (ძველი)

კლასის ზომა, მმ	გამოსავალი,%	Mn,%
15	16	9,2
15-5	22	9,6
5-1	24	9,8
<1	38	10,4
საშუალო		9,75

შლამის გაცრითი ანალიზის შედეგები

ნიმუში	1,0-1,5 მ სიღრმიდან		2,0-2,5 მ სიღრმიდან		3,0-3,5 მ სიღრმიდან		საშუალო	S
	შემცველობა, %							
>3,2	8,12	12,38	3,2	3,32	6,15	4,45	6,27	3,219
3,2 - 1,8	11,76	16,22	6,64	7,42	8,82	5,45	9,385	3,641
1,8 - 0,9	16,24	22,62	9,2	12,55	8,1	7,9	12,76833	5,282
0,9 - 0,25	38,42	30,28	42,67	34,28	38,8	40,37	37,47	4,082
0,25 - 0,1	20,34	14,24	34,36	35,02	30,12	34,93	28,16833	8,063
<0,1	5,12	4,26	3,93	7,41	8,01	6,9	5,938333	1,575

მანგანუმის შემცველობა ფრაქციების მიხედვით შლამში.

ნიმუში აღებულია 3,0 - 3,5 მ სიღრმიდან

კლასების ზომა, მმ	ცალკეული კლასების		Mn, %	MnO ₂	Mn ⁺⁴	Mn ⁺⁴ /Mn
	მასა, კგ	გამოსავალი, %				
>2,8	0,45	9	11,55	11,01	6,960	0,603
2,8-2,2	0,15	3	13,74	14,86	9,394	0,684
2,2-0,9	0,55	11	11,87	13,48	8,521	0,718
0,9-0,56	0,45	9	11,07	13,45	8,502	0,768
0,56-0,25	1,5	30	11,07	12,15	7,681	>0,694
0,25-0,1	1,5	30	10,78	13,15	8,313	0,771
<0,1	0,4	8	11,55	12,07	7,630	0,661
საშუალო			11,661	12,881	8,143	0,699
S			0,915	1,157	0,731	0,0552

UDC 669.1

PHYSICO-CHEMICAL STUDY OF INDUSTRIAL WASTES OF CHIATURA MINING-ENRICHMENT ENTERPRISE

T. Lezhava, G. Tsurtsunia, J. Shengelia, N. Koiava, V. Chagelishvili, D. Gogoli, G. Gorelishvili,
L. Beriashvili

Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, R. Agladze Institute of Inorganic Chemistry and Electrochemistry
11 Mindeli Str. Tbilisi 0186, Georgia

E-mail: Tinatin.lezhava@tsu.ge

Resume: Objective. Development of novel technologies of processing of current and potential industrial wastes of Chiatura Mining area based on study of chemical, mineralogical and granulometric content of these wastes.

Method. The elemental composition of the research object (tails and sludge) will be determined applying X-ray fluorescence spectroscopy (SKYRY, EDX3600H) and chemical quantitative analysis (ГОСТ 25823-83). Mineralogical composition will be determined by X-ray diffraction (DRON-3M) and thermal analysis (NETZSCH, STA 2500). The study of granulometric characteristics will be performed using sieve method (ALTAIR PLUS, CJM-200).

Results. Based on results it was found that manganese in wastes (tails and sludge) is presented as phases of minerals: psilomelane, manganate, rhodochrosite. Silicon is presented mainly as quartz and as small amount of calcium, manganese, aluminium silicates. The enrichment of the total manganese (10-20%) and manganese dioxide (40-90%) in wastes depends on composition of the ore and depth of flushing. Fractions of tails are much larger compare to sludge regardless of different conditions of formation. The content of manganese is slightly changed with change of particle size.

Conclusion. The waste (tails and sludge) of Chiatura mining enrichment enterprise is valuable (ΣMn 10- 20%; Mn^{+4} 4–18%) technological material. It is necessary to select safe, effective, relatively eco-friendly reducing agent for the transformation of insoluble MnO_2 to soluble form of Mn^{2+} and complete utilization of manganese ($\text{Mn}^{+4}/\text{Mn} \geq 0,4$) from waste materials using chemical methods.

In the processing of tails, to avoid energy demanding and non-eco-friendly stages such as fractioning, grinding and high temperature roasting it is better to use either the utilization method which does not exploit small fractioned materials or alternatively, to establish the optimal, rough grinding limit.

Key words: Technogenic materials; Ore wastes enrichment; Tails and Sludge.

უაკ 666.3/7

$^{11}\text{B}_4\text{C}$ და $^{11}\text{B}_4\text{C}-\text{Zr}^{11}\text{B}_2$ თვითშემზეთი კერამიკული მასალები ბირთვული რეაქტორის მშრალი ხახუნის კვანძებისთვის

ზ. მესტვირიშვილი^{1,2}, დ. გვენცაძე³, ვ. კვაჭაძე⁴, ა. მიქელაძე⁵, ირ. ზაირამაშვილი^{4,5}, ზ. კოვზირიძე¹

¹საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, კოსტავას ქ. 69, თბილისი, 0160, საქართველო

²სოხუმის ილია ვეკუას ფიზიკა-ტექნიკის ინსტიტუტი, მინდელის 7, თბილისი, 0186, საქართველო

³რაფიელ აგლამის ელექტროქიმიისა და არაორგანული ქიმიის ინსტიტუტი, მინდელის 11, თბილისი, 0186, საქართველო

⁴ელეფთერ ანდრონიკაშვილის სახელობის ფიზიკის ინსტიტუტი, თამარაშვილის 6, თბილისი, 0186, საქართველო

⁵ფერდინანდ თავაძის სახელობის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის სამეცნიერო ინსტიტუტი, მინდელის 88, თბილისი, 0186, საქართველო

*Corresponding author. Tel.: +995 574 181 181

E-mail: zviad.mst@gmail.com

რეზიუმე: მიზანი. კვლევის მიზანია იზოტოპ ბორ-11-ით გამდიდრებული ბორის კარბიდის და მის ბაზაზე დამზადებული კომპოზიტების ტრიბოლოგიური მახასიათებლების კვლევა.

მეთოდი. ბორის კარბიდის ფხვნილების ცხელი დაწნებით $2000-2140^\circ\text{C}$ ტემპერატურაზე და 22-39მპა წნევით დამზადდა მილისებრი ნიმუშები. ტრიბოლოგიური მახასიათებლები განისაზღვრა IM58 ხახუნის მანქანის საშუალებით. ჩატარდა ნიმუშების რენტგენოსტრუქტურული, ოპტიკური და ელექტრონული მიკროსკოპული კვლევა.

შედეგი. მიღებულია $^{11}\text{B}_4\text{C}$ და $^{11}\text{B}_4\text{C}-\text{Zr}^{11}\text{B}_2$ მაღალი სიმკვრივის კერამიკები ტრიბოლოგიურ მახასიათებლებზე გამოსაკვლევად. სამივე შედეგნილობის კერამიკის გამოკვლევით მიიღეს დაბალი ხახუნის კოეფიციენტი 0.1 მპა წნევასა და 1000-1500 ბრ/წთ-ზე გამოცდისას. მათგან გამოირჩევა $^{11}\text{B}_4\text{CZr}_5$ კომპოზიტი, რომელმაც ხანგრძლივი გამოცდის პირობებში, 30 კმ გავლილი მანძილით, 0.1 მპა წნევასა და 2500 ბრ/წთ-ზე აჩვენა მაღალი ცვეთამედეგობა და დაბალი ხახუნის კოეფიციენტი – 0.13. $^{11}\text{B}_4\text{CZr}_5$ კომპოზიტი გამოირჩევა მაღალ დატვირთვაზე (0.15 მპა) მდგრადობითაც, სადაც 1500 ბრ/წთ-ზე ასევე აჩვენა საუკეთესო ხახუნის კოეფიციენტი 0.11.

დასკვნა. შემუშავებული კერამიკული მასალების დაბალი ხახუნის კოეფიციენტი 0.1 მპა წნევასა და 1000-1500 ბრ/წთ-ზე გამოწვეულია ტრიბოქიური რეაქციის შედეგად ბორის მჟავას ტრიბოფენის – მყარი ზეთის აფსკის (მესამე სხეული) წარმოქმნით. $^{11}\text{B}_4\text{CZr}_5$ კომპოზიტის მდგრადობა გამოწვეულია ბორის კარბიდის მიკროსტრუქტურის დახვეწით და ელასტიკურობის გაზრდით. მიღებული შედეგების მიხედვით, იზოტოპ ბორ-11-ით გამდიდრებული $^{11}\text{B}_4\text{C}$ და მის ბაზაზე დამზადებული კომპოზიტები – $^{11}\text{B}_4\text{C}-\text{ZrB}_2$ კონკურენტუნარიანია კერამიკული მასალების ბირთვული რეაქტორების მშრალი ხახუნის კვანძებში გამოსაყენებლად, როგორც სრიალის საკისრები.

საკვანძო სიტყვები: ბორის კარბიდი; ხახუნის კოეფიციენტი; ცვეთამედეგობა; ბირთვული რეაქტორი.

1. შესავალი

ბორის შემცველ მასალებს მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია ატომურ ენერგეტიკაში. ^{10}B იზოტოპის უნიკალური ბირთვული თვისებების დამსახურებით ბორის კარბიდი, ბორის მჟავა და ბორის რამდენიმე ნაერთი შეუცვლელია ბირთვულ რეაქტორებში. ^{11}B იზოტოპი თავისი ბირთვული და ნახევრად გამტარი თვისებების გამო, ძირი-

თადად მიკრო- და ნანოელექტრონიკაში გამოიყენება. დღეს წარმოდგენილია ნანოელექტრონიკის განვითარება ^{11}B -ის გარეშე [1]. ^{10}B იზოტოპს აქვს ნეიტრონების შთანთქმის მაღალი კვეთი, რის გამოც მისი შემცველი $^{10}\text{B}_4\text{C}$ შეუცვლელი შთანთქმელი ელემენტია ბირთვული რეაქტორის ავარიული დაცვისა და მარეგულირებელ დეროებში [2-5]. $\text{H}_3^{10}\text{BO}_3$ წყალხსნარის სახით გამოიყენება რეაქტორების გაგრილების სისტემაში, $^{10}\text{B}_4\text{C}$ -ის ფირები კი – ნეიტრონული ნაკადის ნახევრად გამტარულ სენსორებში [6-8]. ^{11}B -ს აქვს თბური ნეიტრონების შთანთქმის ძალიან დაბალი კვეთი (0.005 ბარნი), რის გამოც ითვლება პერსპექტიულ შემნელებელ და ამრეკლავ საშუალებად რეაქტორულ მასალებში [1, 9].

ცხლად დაწნეხილ ბორის კარბიდს, კარგი ბირთვული თვისებების გარდა, ახასიათებს მაღალი სისალე (30-40 გ/სმ³) და დაბალი კუთრი წონა (2.51 გ/სმ³) [10]. ეს თვისებები ის ძირითადი ფუნქციური მახასიათებლებია, რის გამოც ბორის კარბიდს კერამიკა, მაღალი ღირებულების მიუხედავად, შეუცვლელია ელიტარული ჯავშან-ჟილეტის, მსუბუქი ტექნიკისა და შვეულმფრენების ბალისტიკური დაცვის მასალებში [11].

ბორის კარბიდს ახასიათებს მაღალი სიმეიფე / დაბალი ბზარმდეგობა (2-3 MPa√m) [3], რის გამოც მისი გამოყენება კონსტრუქციული დანიშნულებით შეზღუდულია [12]. ბზარმდეგობის გასაუმჯობესებლად სხვადასხვა მეთოდი გამოიყენება. ესენია: ლეგირება, ბორის კარბიდის ნანოფხვნილების და ნანობოჭკოების გამოყენება, კომპოზიტების დამუშავება ბორის კარბიდის ბაზაზე და სხვა [3, 9, 13-19].

ატომური ტექნიკისთვის პერსპექტიული მასალაა ცირკონიუმით ლეგირებული $^{11}\text{B}_4\text{C}$ [1]. ცნობილია, რომ ბირთულ რეაქტორში ბორის კარბიდის კრისტალური მესრის დეფექტებს (თბური სოლები, გადაადგილების სოლები) იწვევს როგორც მაღალი ენერჯის (2.79 MeV) მქონე α ნაწილაკებით შიგა ბომბარდირება (^{10}B (n, α) რეაქციის შედეგი), ისე უშუალოდ სწრაფი ნეიტრონებით ზემოქმედება [6]. ამ დროს მასალაში წარმოიქმნება თერმული და მექანიკური ძაბვები. ეს უკანასკნელი უმეტესად განპირობებულია ჰე-

ლიუმის ბუშტების ფორმებში გაერთიანებით. ისინი შემდგომ ქმნის ჯაჭვებს, რაც მასალაში იწვევს მიკრო- და მაკრობზარების გაჩენას [20]. თუ კომპოზიტში იზოტოპი ^{10}B იქნება უმნიშვნელო რაოდენობით, (n, α) რეაქცია და, შესაბამისად, ნაკეთობის გასივება (swelling) მინიმალური იქნება. ეს განპირობებს სწორედ იზოტოპ ^{11}B -ით გამდიდრებული ბორის კარბიდის ფუძეზე შექმნილი კომპოზიტის ($^{11}\text{B}_4\text{C}$ -Zr $^{11}\text{B}_2$) პერსპექტიულობას ატომური ტექნიკისთვის [1].

კომპოზიტი $^{11}\text{B}_4\text{C}$ -Zr $^{11}\text{B}_2$ შედგება ნეიტრონების მხოლოდ შემნელებელი და ამრეკლავი ელემენტებისგან და მისგან დამზადებული სრიალის საკისრების გამოყენება, swelling-ის პროცესის არ არსებობის გამო, შესაძლებელია ბირთვული რეაქტორების მშრალი ხახუნის კვანძებში. ამის საშუალებას იძლევა ბორის კარბიდის მაღალი სისალე და ანტიფრიქციული ბუნება.

კერამიკული საკისრები ცნობილია, თუმცა ძირითადად ჟანგეულები (Al_2O_3 და ZrO_2) და სილიციუმის ნიტრიდი გამოიყენება [21-24]. კარბიდებიდან ცნობილია სილიციუმის კარბიდის საკისრები, სხვა მასალები ჯერ კიდევ კვლევის საკითხია [25, 26]. ასეთი სამუშაოებია ბორის კარბიდის და B_4C -SiC კომპოზიტების ტრიბოლოგიური მახასიათებლების კვლევა, როდესაც შესწავლილ იქნა SiC-ის გავლენა ბორის კარბიდის ტრიბოლოგიურ მახასიათებლებზე სხვადასხვა დატვირთვისას [27, 28].

ჩვენი სამუშაოს მიზანია იზოტოპ ბორ-11-ით გამდიდრებული ბორის კარბიდის და მის ბაზაზე დამზადებული ცირკონიუმით ლეგირებული $^{11}\text{B}_4\text{C}$ -Zr $^{11}\text{B}_2$ კომპოზიტების ტრიბოლოგიური მახასიათებლების კვლევა, რათა შეფასდეს მათი გამოყენების პერსპექტივა ბირთვული რეაქტორების მშრალი ხახუნის კვანძებში.

2. ძირითადი ნაწილი

2.1. ნიმუშების დამზადება

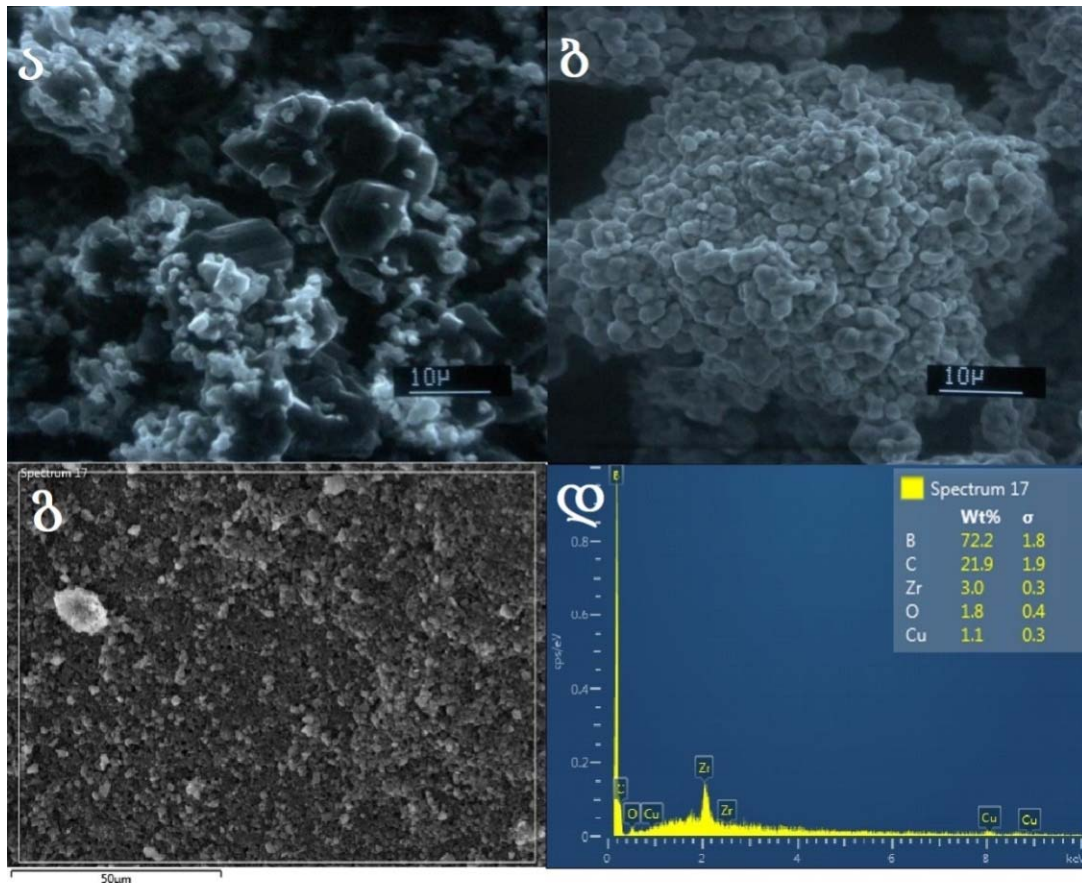
კვლევისთვის გამოყენებულ იქნა იზოტოპ ბორ-11-ით გამდიდრებული ბორის კარბიდის და ცირკონიუმის დიბორიდის ფხვნილები, წარმოებული სტაბილური იზოტოპების ინსტიტუტის მიერ (საქართველო). 1-ელ სურ-ზე მოყვანილია ნედლე-

ული წნეხ-ფხვნილების და კომპოზიტის ელექტრონული მიკროსკოპული კვლევის შედეგები.

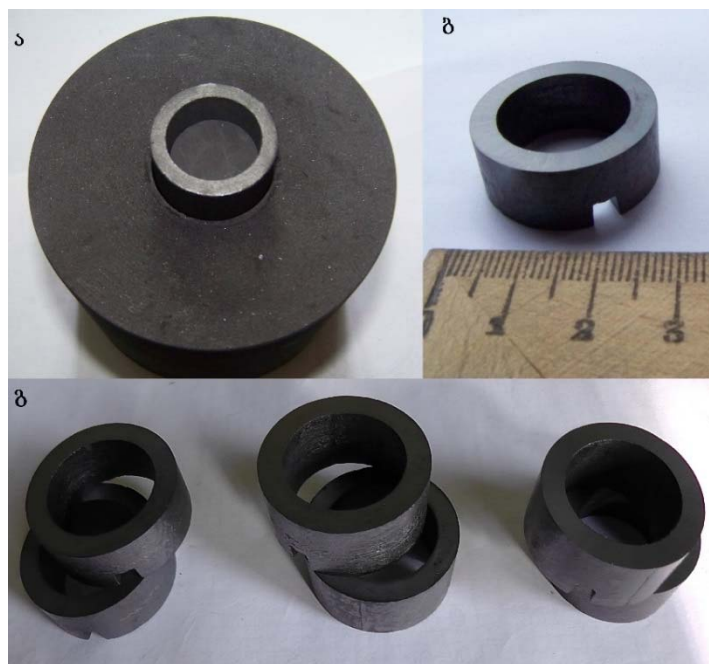
ნედლეული ფხვნილების თანაბრად შესარევად გამოყენებულ იქნა სველი შერევის მეთოდი. აღნიშნულ ეტაპზე მოხდა 1,ბ სურ-ზე ნაჩვენები აგლომერატების დაშლა. 1,გ სურ-ზე წარმოდგენილი $^{11}\text{B}_4\text{C}\cdot\text{Zr}^{11}\text{B}_2$ ნარევის EDS სპექტრი 17 გვიჩვენებს ცირკონიუმის თანაბარ განაწილებას (3 მას.%) მოცულობაში. ფხვნილების ცხელი დაწნებით $2100\text{-}2140^\circ\text{C}$ ტემპერატურაზე და 22-39 მპა წნევით დამზადდა მილისებრი ნიმუშები ტრიბოლოგიური გამოცდისთვის. მე-2 სურ-ზე წარმოდგენილია გრაფიტის წნეხ-ფორმა და მისი

საშუალებით დამზადებული $^{11}\text{B}_4\text{C}$ -ის და $^{11}\text{B}_4\text{C}\cdot\text{Zr}^{11}\text{B}_2$ კომპოზიტების გამოსაცდელი ნიმუშების წყვილების ფოტოები.

1-ელ ცხრილში მოცემულია ნიმუშების შედგენილობა და ცხელი დაწნების პარამეტრები. ცხელი დაწნების პროცესში რეგულირდებოდა წნევა და ტემპერატურა ისე, რომ თითოეული შედგენილობისთვის (ორი ნიმუში) ყოფილიყო მუდმივი. დაწნებისას განისაზღვრა მაქსიმალური სიმკვრივის მიღწევა. დაწნების ტემპერატურის მიზანმიმართული შემცირება, მალეგირებელი ელემენტის ზრდასთან ერთად, გამოწვეული იყო ევტექტიკის წარმოქმნის და დნობის საშიშროებით.



სურ. 1. ნედლეული ფხვნილების ა- $^{11}\text{B}_4\text{C}$, ბ- Zr^{11}B_2 , გ- $^{11}\text{B}_4\text{C}\cdot 3.7\text{Zr}^{11}\text{B}_2$ SEM სურათები და დ- $^{11}\text{B}_4\text{C}\cdot 3.7\text{Zr}^{11}\text{B}_2$ -ის EDS სპექტრი



სურ.2. გრაფიტის წნებ-ფორმა -ა და გამოსაცდელი ნიმუშები ბ, გ

ცხრილი 1

ნიმუშების შედგენილობა და ცხელი დაწნების პარამეტრები

ნიმუშის №	ნიმუშის აღნიშვნა	ნიმუშის შედგენილ.	Zr, მას.%	ცხელი დაწნების პარამეტრები				
				V _{გაზურ} , %/წთ	V _{გაფივ} , %/წთ	T, °C	P, მპა	τ, წთ
1	11B4C	¹¹ B ₄ C	0	72-77	25-26	2140	22	8-10
2	11B4CZr3	¹¹ B ₄ C-Zr ¹¹ B ₂	3	68-79	25-27	2100	39	12-14
3	11B4CZr5	¹¹ B ₄ C-Zr ¹¹ B ₂	5	70-76	23-25	2000	38	11-12

2.2. ნიმუშების კვლევა

ნიმუშების კუთრი წონა გამოთვლილ იქნა გეომეტრიული ზომების მიხედვით. ფარდობითი სიმკვრივე განისაზღვრა როგორც ლიტერატურული მონაცემების, ისე თეორიულად გაანგარიშებული კუთრი წონების გამოყენებით. ნიმუშების ფარდობითი სიმკვრივეები 96–97%-ის ზღვრებში მერყეობდა. ტრიბოლოგიური მახასიათებლები გამოთვალეს ხახუნის მანქანა IM58-ის საშუალებით. ორი ერთნაირი კომპოზიტის ნიმუშების მოხაზუნე ტორსული ზედაპირების დამუშავებისთვის შერჩეულ იქნა 10-30 ნ ძალა და ბრუნვათა რიცხვი 100-200 ბრ/წთ. ზედაპირების

დამუშავების შემდეგ ჩატარდა ნიმუშების გამოცდა. დატვირთვა – 0.1 და 0.15 მპა (30 და 45 ნ შესაბამისად). ბრუნვათა რიცხვი – 200, 300, 500, 1000, 1500, 2000 და 2500 ბრ/წთ. განისაზღვრა: ხახუნის კოეფიციენტი, წონითი ცვეთა, ხაზობრივი ცვეთა და ცვეთის ინტენსივობა. ხახუნის კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის ნიმუშები გამოიცადა 18 წუთის განმავლობაში (გავლილი მანძილი S≈2000 მ), ხოლო ცვეთის განსაზღვრავად – 90 წუთის განმავლობაში (S≈10 000 მ). უძრავ ნიმუშზე თერმოწყვილით გაიზომა ტემპერატურა ზედაპირიდან 1 მმ-ის დაშორებით. ცვეთის განსაზღვრისთვის გამოყენებულ იქნა ანალიზური სასწორი.

ცვეთაზე გამოცდილ ნიმუშებს ჩაუტარდა ნამუშევარი ზედაპირების ოპტიკური მიკროსკოპული კვლევა ფირმა „MEIJI TECHNO“-ის ინვერსიულ-მეტალურგიული ოპტიკური მიკროსკოპ „IM 7100“-ისა და IIIT-3-ის საშუალებით. ელექტრონული მიკროსკოპული კვლევა ჩატარდა „JEOL“-ის ელექტრონულ მიკროსკოპზე JSM-510LV, რომელიც აღჭურვილია ენერგოდისპერსიული მიკრორენტგენოსპექტრული ანალიზატორით (EDXA) „X-MaxN“ (ფირმა „OXFORD INSTRUMENTS“, ინგლისი). დრეკადობის მოდული, მიკროსისალე და ბზარმდეგობა გაიზომა ფირმა „SHIMADZU“-ის ხელსაწყო „DUH-211S“-ზე (იაპონია) როგორც ინდენტირების, ისე დატვირთვა-განტვირთვის

რეჟიმში ISO-14577 საერთაშორისო სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამისად.

2.3. შედეგები და მათი განსჯა

ნიმუშების ტრიბოლოგიური გამოცდის პარამეტრები და ძირითადი შედეგები წარმოდგენილია მე-2 ცხრილში. 11B4C ნიმუშმა 0.1 მპა წნევაზე დაბალი ხახუნის კოეფიციენტი - 0.14 და ცვეთის ინტენსივობა აჩვენა. აღნიშნულმა ნიმუშმა დატვირთვის გაზრდით დაბალ ბრუნვაზე (200–500 ბრ/წთ) თითქმის გაიმეორა ნაჩვენები შედეგი, თუმცა 1000 ბრ/წთ-ზე გადასვლისას წარმოიქმნა ნიმუშის ახალი ზედაპირები მაღალი ფრიქციულობით.

ცხრილი 2

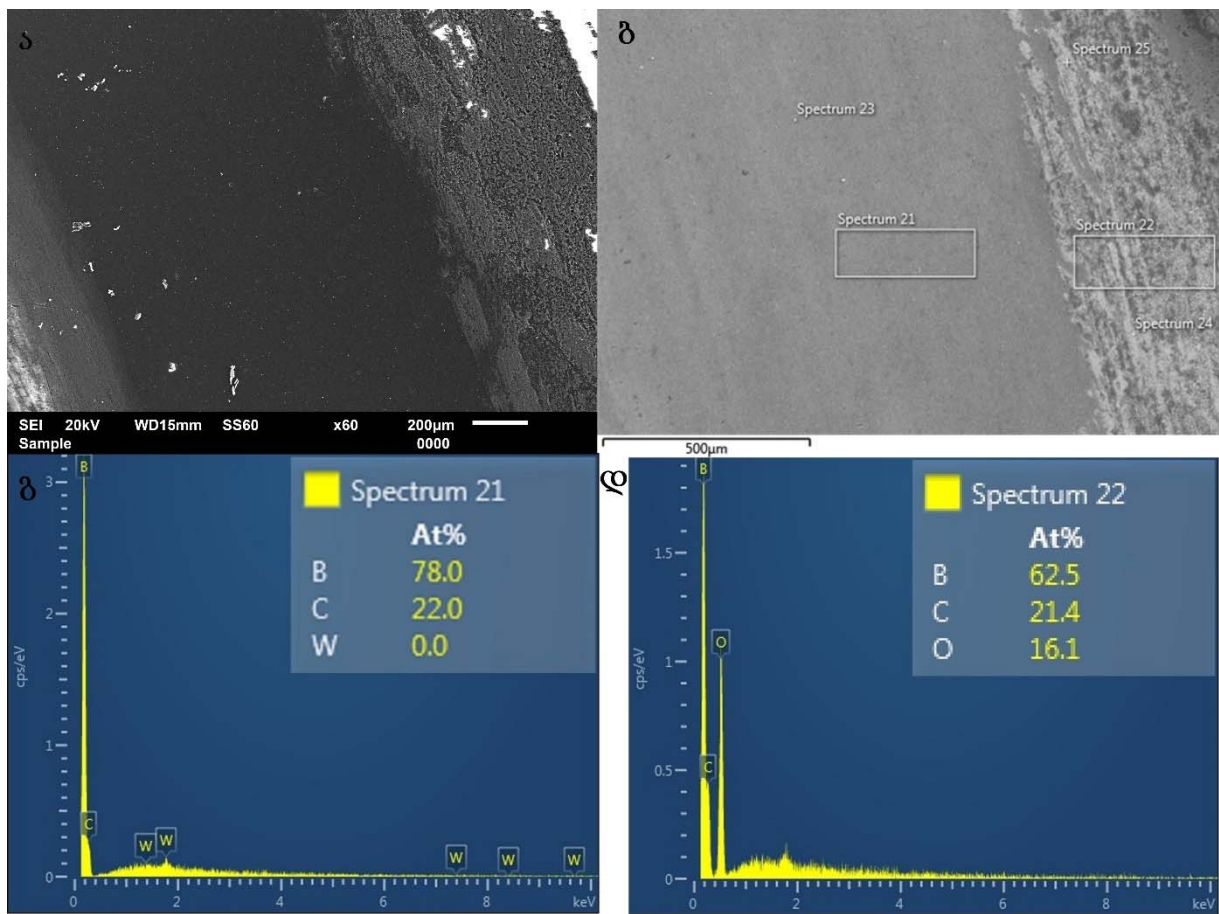
ტრიბოლოგიური გამოცდის პარამეტრები და შედეგები

ნიმუში	ბრუნვათა რიცხვი, ბრ/წთ	T, °C	ხახუნის კოეფიციენტი, f	ცვეთის ინტენსივობა I, ·10 ⁻⁹	T, °C	ხახუნის კოეფიციენტი, f	ცვეთის ინტენსივობა I, ·10 ⁻⁹
11B4C	500	26	0.23	1.13	34	0.26	0.54
	1000	41	0.16	0.67	N/A	N/A	N/A
	1500	50	0.14	0.44	N/A	N/A	N/A
	1500 (18 წთ)	47	0.14	0.22	N/A	N/A	N/A
	1500 (90წთ)	50	0.14	0.44	N/A	N/A	N/A
11B4CZr3	500	26	0.20	1.01	48	0.62	28.34
	1000	30	0.13	4.41*	N/A	N/A	N/A
	1500	32	0.13	0.40	N/A	N/A	N/A
	1500 (18 წთ)	28	0.13	0.40	N/A	N/A	N/A
	1500 (90წთ)	32	0.13	0.59	N/A	N/A	N/A
11B4CZr5	500	30	0.23	0.58	38	0.16	1.16
	1000	36	0.21	0.43	44	0.15	0.43
	1500	40	0.19	0.39	50	0.11	0.29
	1500 (18 წთ)	43	0.21	0	48	0.12	0
	1500 (90წთ)	40	0.19	0.77	52	0.11	0.39
	2000 (18 წთ)	42	0.15	0	N/A	N/A	N/A
	2000 (90წთ)	44	0.14	0.43	N/A	N/A	N/A
	2500 (18 წთ)	50	0.13	0	N/A	N/A	N/A
	2500 (90წთ)	55	0.13	0.33	N/A	N/A	N/A

* ნიმუშებს აღნიშნებოდა წიბოების მცირე დაზიანება

0.1 მპა წნევაზე 11B4CZr3 ნიმუშის ტრიბოლოგიური მახასიათებლები უმნიშვნელოდ განსხვავდებოდა 11B4C ნიმუშის მაჩვენებლებისგან. ასევე ვერ გაგრძელდა 0.15 მპა წნევაზე კომპოზიტის გამოცდა მაღალ ბრუნვაზე, რადგან 500 ბრუნვაზე გაიზარდა ხახუნის კოეფიციენტი, ტემპერატურა და ცვეთა. 11B4CZr5 ნიმუშმა 0.1 მპა წნევაზე შედარებით მაღალი ხახუნის კოეფიციენტი აჩვენა, თუმცა გაუმჯობესდა ცვეთის ინტენსივობის მახასიათებელი. ეს კომპოზიტი

საინტერესო იყო იმით, რომ მოგვცა ხანგრძლივი გამოცდის საშუალება 2000-2500 ბრ/წთ-ზე, სადაც ძალიან კარგი შედეგი ჰქონდა როგორც ხახუნის კოეფიციენტის, ისე ცვეთის მხრივ. 11B4CZr3 კომპოზიტი კარგად მუშაობდა 0.15 მპა დავირთვისას, სადაც იმუშავა მაღალ ბრუნვაზე და საუკეთესო შედეგი აჩვენა. 1500 ბრ/წთ სიჩქარისას მისი ცვეთამედეგობა 5.5-ჯერ მეტია 11B4C კერამიკასთან შედარებით.



სურ. 3. 11B4C ნიმუშის ზედაპირის ელექტრონული მიკროსკოპული კვლევის შედეგები

თუ მიღებულ შედეგებს შევადარებთ ლიტერატურაში მოყვანილ ბორის კარბიდის და ზოგადად კერამიკული მასალების ტრიბოლოგიური კვლევის (რგოლი/დისკო) შედეგებს, ვნახავთ, რომ მიღებულია უკეთესი შედეგი. მაგალითად, B₄C-SiC კომპოზიტების ხახუნის კოეფიციენტი 0.1 მპა

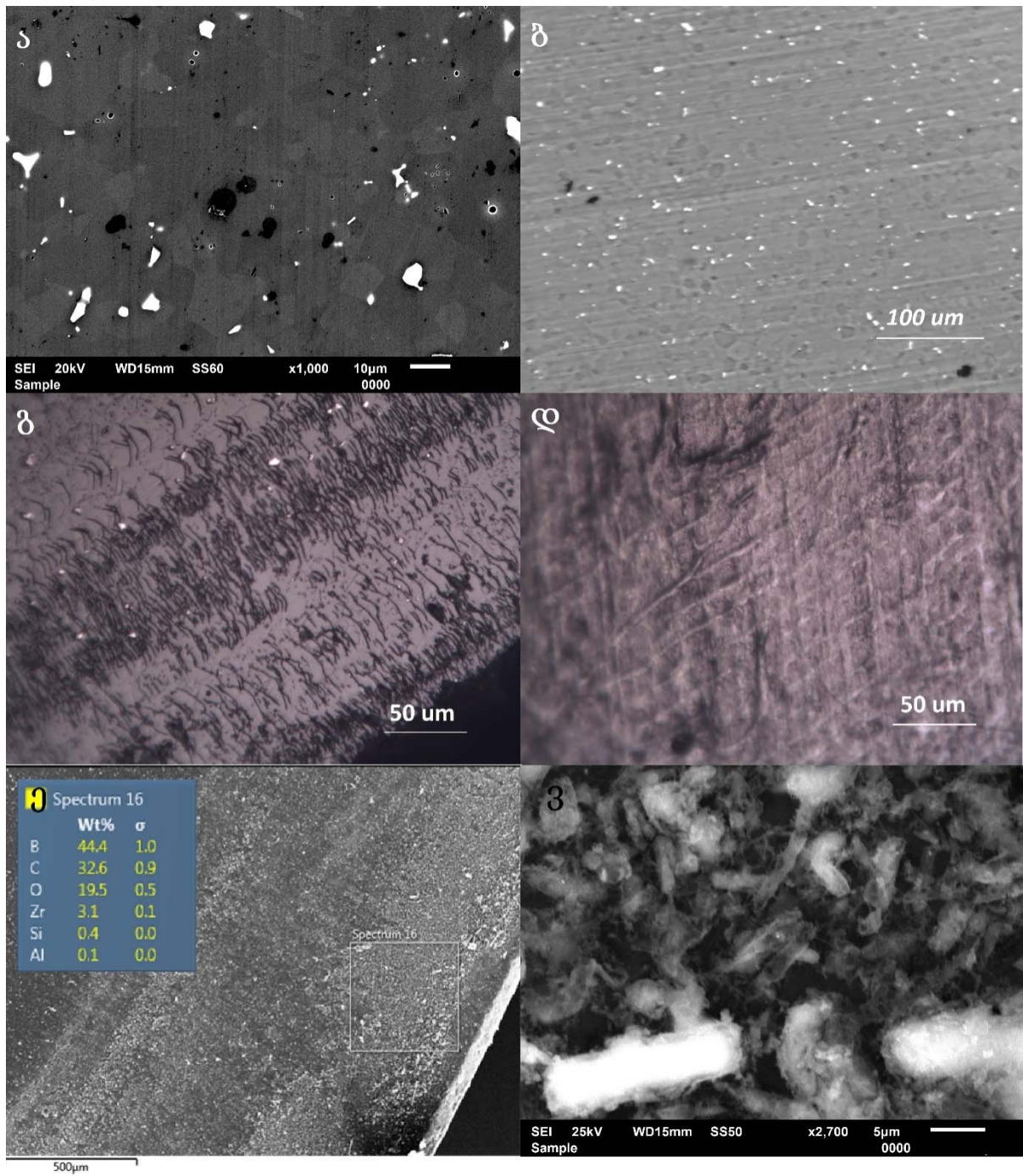
წნევის დროს (30.8 ნ) 1500 ბრ/წთ-ზე 0.17–0.28 ზღვრებშია [27]. ჩვენ მიერ მიღებული კომპოზიტებისთვის ეს მაჩვენებელი 0.13–0.19 ზღვრებშია. შემდეგი ლიტერატურული კვლევის მიხედვით, სადაც შესწავლილი იყო ბორის კარბიდი და B₄C-SiC კომპოზიტები, B₄C-ის ხახუნის კოეფი-

ციენტი 0.24–0.44 ზღვრებში იყო დატვირთვის ცვლილების შედეგად, B₄C-SiC კომპოზიტისთვის კი ეს მაჩვენებელი 0.32–0.48 იყო [28]. გაცილებით მაღალი ხახუნის კოეფიციენტი აქვს სხვადასხვა კვლევაში მოყვანილ უჟანგბადო [25, 26] თუ ჟანგეულების კერამიკებს [21-24].

მე-3 სურ-ზე წარმოდგენილია 11B4C ნიმუშის ზედაპირის ელექტრონული მიკროსკოპული სურათები და EDS სპექტრები. 3ა და 3ბ სურათებზე ჩანს ცვეთის შედეგად დაზიანებული ზედაპირი, 3ბ სურათზე – 21 და 22 სპექტრების აღების ფართობი, ხოლო 3გ და 3დ სურათებზე – მათი EDS სპექტრები. დაუზიანებელი ზედაპირის EDS სპექტრი შეესაბამება სუფთა ბორის კარბიდის ქიმიურ შედგენილობას. დაზიანებულ ადგილას დიდი რაოდენობით ჟანგბადის არსებობა მიგვანიშნებს ბორის ჟანგის, უფრო კი ბორის მჟავას არსებობაზე (ხელსაწყო „X-Max^{NC}“ წყალბადს ვერ აფიქსირებს). მიუხედავად იმისა, რომ გაზომილი ტემპერატურა გაცილებით დაბალია ბორის დაჟანგვის ტემპერატურაზე, კონტაქტის წერტილებში ხახუნის შედეგად მიმდინარეობს ლოკალური გადახურება, რასაც მოჰყვება ბორის დაჟანგვა და, ტენიანობის გამო (45–55%), ბორის მჟავას წარმოქმნა. მსგავს შემთხვევას EDS სპექტრების საშუალებით ადასტურებენ [27–29] კვლევის ავტორები, რომლებიც ბორის ჟანგის ან ბორის მჟავას წარმოქმნას ტრიბოქიმიური რეაქციით ხსნიან. მცირე რაოდენობით ნანოზომების ბორის მჟავა წარმოქმნის ტრიბოქიმიურ ფენას (ტრიბოფენას, მესამე სხეულს), რომელიც საუკეთესო მყარი ზეთის თვისებებს ავლენს და საგრძნობლად ამცირებს ხახუნის კოეფიციენტს და ცვეთას. ტრიბოფენა მუშაობს გარკვეულ დატვირთვებზე (ბრუნვა, ძალა). მაღალ დატვირთვებზე შეინიშნება აღნიშნული ტრიბოფენის მოხსნა და ცვეთის და ტემპე-

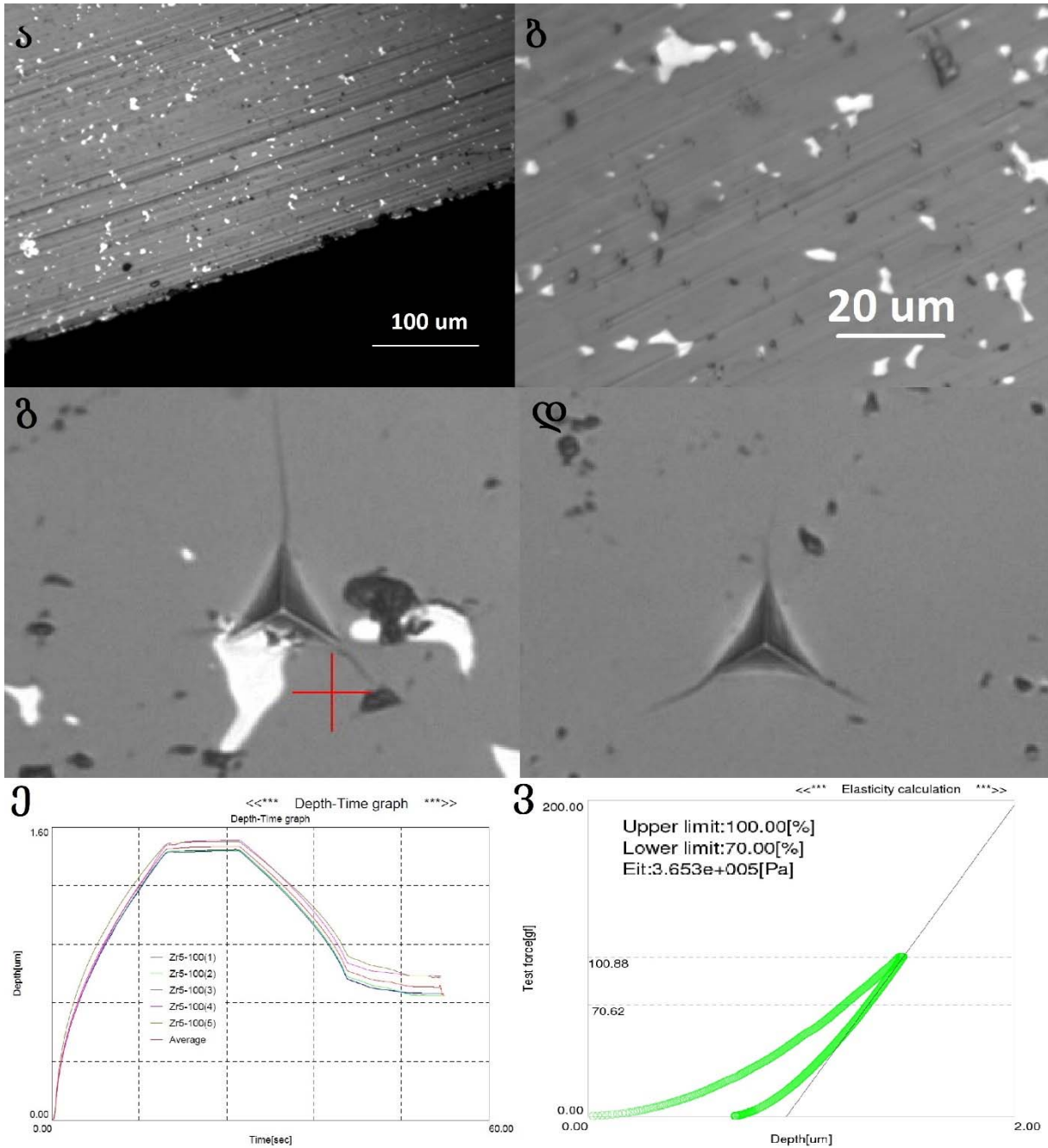
რატურის მომატება, რაც იწვევს დამუშავებული ზედაპირის მოხსნას (ე.წ. განშრევა) და მასალის დაზიანებას. მაღალ დატვირთვაზე (20 ნ) ბორის კარბიდის ზედაპირის განშრევა აღწერილი აქვთ [28] სტატიის ავტორებს, რომლებიც აღნიშნავენ, რომ ეს შემთხვევა არ დაფიქსირდა B₄C-SiC კომპოზიტის ტრიბოლოგიური კვლევისას, მიუხედავად იმისა, რომ ეს უკანასკნელი აბრაზიული ცვეთით გამოირჩეოდა. B₄C-SiC კომპოზიტის აბრაზიულ ცვეთას ავტორები უკავშირებენ SiC მეორე ფაზის გამო გამოწვეულ ზედაპირის სიმქისეს.

მე-4 სურ-ზე წარმოდგენილია 11B4CZr3 ნიმუშის ზედაპირის ოპტიკური და ელექტრონული მიკროსკოპული სურათები. ა ფოტოზე ნაჩვენებია დაუზიანებელი ზედაპირი, სადაც, პოლირების გამო, შესაძლებელია მარცვლების გარჩევა. ბ ფოტოზე ჩანს ცვეთის მიმართულება მიკრონის რიგის ნაკაწრებით. ეს უკანასკნელი გამოწვეულია ზედაპირული ფენიდან ამოცვენილი მარცვლებით, რომლის ადგილები ამავე ფოტოზე ჩანს. გ ფოტოზე ჩანს ნიმუშის კიდე, ელექტროქიმიურად ამოჭმული, სადაც შეინიშნება დაზიანებული მიკროსტრუქტურა ცვეთის მიმართულების მართობული რკალების სახით. დ ფოტოზე ნაჩვენებია დაზიანებული ზედაპირის ქვედა ფენა, სადაც ასევე ჩანს ცვეთის მიმართულება მარცვლების რიგის ზოლების სახით, ე ფოტოზე – დაზიანებული კიდე, დიდი გადიდებით და მე-16 EDS სპექტრით, საიდანაც შეიძლება ვარაუდი, რომ ჟანგეული ძირითადად ბორის ხარჯზე წარმოიქმნა. დიდი გადიდების ვ ფოტოზე კი ვხედავთ ამორფულ წვრილმარცვლოვან ფენას, რომელიც ბორის მჟავას ახასიათებს. ბორის მჟავას იდენტიფიცირებას, რენტგენოფაზური ანალიზის მეთოდით, ხელი შეუშალა ტრიბოფირის მცირე რაოდენობით წარმოქმნამ.



სურ.4. 11B4CZr3 კომპოზიტის ზედაპირის ა, ე, ვ- ელექტრონული მიკროსკოპული ფოტოები; ბ, გ, დ - ოპტიკური მიკროსკოპული კვლევის შედეგები

მე-5 სურათზე წარმოდგენილია 11B4CZr5 ნიმუშის ზედაპირის ა, ბ ოპტიკური მიკროსკოპული სურათები; გ, ე, ვ - მიკროსისალის და ელასტიკურობის მოდულის კვლევის შედეგები, ხოლო დ სურათზე - შედარებისთვის 11B4C ნიმუშის ზედაპირზე ინდენტერის ანაბეჭდი



სურ.5. 11B4CZr5 კომპოზიტის ზედაპირის ა, ბ ოპტიკური მიკროსკოპული ფოტოები; გ, ე, ვ – მიკროსისალის და ელასტიკურობის მოდულის კვლევის შედეგები; დ – 11B4C კერამიკაზე ინდენტერის ანაბეჭდი

ა და ბ სურათზე ვხედავთ, რომ ნიმუშის როგორც კიდე, ისე ცენტრალური ნაწილი ერთნაირად დაუზიანებელია. შეიმჩნევა მიკრონის რიგის ნაკაწრები. მალეგირებელი ელემენტის ჩანართები არ არის ამოცვენილი. გ და დ ფოტოებზე ნაჩვენებია ინდენტერის ანაბეჭდები 11B4CZr5 და 11B4C ნიმუშების ზედაპირზე. თუ ანაბეჭდის ბზარებს შევადარებთ, ვნახავთ, რომ მალეგი-

რებელი ელემენტი ბზარის გავრცელების ინჰიბიტორია. შედეგად 11B4CZr5 კომპოზიტი ხასიათდება გაუმჯობესებული ელასტიკური მახასიათებლებით (365 გპა, სურათი დ) და ბზარმდევობით. ლეგირებული კომპოზიტის სისალე 5%-ით შემცირებულია (28 გპა), რაც დამახასიათებელია ამ ტიპის კომპოზიტებისთვის.

მიღებული შედეგებიდან გამომდინარე, სიცოცხლისუნარიანობით და მდგრადობით გამოირჩევა $11B_4CZr_5$ კომპოზიტი. აღნიშნულმა კომპოზიტმა წარმატებით იმუშავა 10-10 კმ-იანი განვლილი მანძილით 1500, 2000 და 2500 ბრ/წთ-ზე. ასევე გამოსარჩევია მისი მდგრადობა მაღალ წნევაზე (0.15 მპა), სადაც საუკეთესო ტრიბოლოგიური მახასიათებლები მიიღეს. საერთო შედეგების მიხედვით და ლიტერატურული მონაცემების გათვალისწინებით, სამივე ნიმუშის შედეგები აკმაყოფილებს მშრალი ხახუნის საკისრების მოთხოვნებს ტრიბოლოგიური მახასიათებლების მხრივ.

3. დასკვნა

ცხელი დაწნების მეთოდით ხდება $11B_4C$ და $11B_4CZr$ მაღალი სიმკვრივის კერამიკული მასალების ტრიბოლოგიურ მახასიათებლებზე კვლევა.

სხვადასხვა შედგენილობის კერამიკამ აჩვენა დაბალი ხახუნის კოეფიციენტი 0.1 მპა წნევაზე და 1000-1500 ბრ/წთ-ზე გამოცდისას, რაც გამოწვეულია ტრიბოქიმიური რეაქციის შედეგად ბორის მჟავას ტრიბოფენის – მყარი ზეთის აფსკის მესამე სხეულის წარმოქმნით.

მიღებული კერამიკული მასალებიდან გამოიკვლიეს $11B_4CZr_5$ კომპოზიტი, რომელმაც ხანგრძლივი გამოცდის პირობებში, 30 კმ გავლილი მანძილით, 0.1 მპა წნევაზე და 2500 ბრ/წთ-ზე აჩვენა ხახუნის კოეფიციენტი 0.13 და დაბალი ცვეთის ინტენსივობა. აღნიშნული კომპოზიტი გამოირჩევა მაღალ დატვირთვაზე (0.15 მპა) მდგრადობითაც, სადაც 1500 ბრ/წთ-ზე ასევე აჩვენა საუკეთესო ხახუნის კოეფიციენტი 0.11 და მაღალი ცვეთამედეგობა.

$11B_4CZr_5$ კომპოზიტის მდგრადობა გამოწვეულია ბორის კარბიდის მიკროსტრუქტურის დახვეწით და ელასტიკურობის გაზრდით.

მიღებული შედეგების მიხედვით, იზოტოპ ბორ-11-ით ლეგირებული $^{11}B_4C$ და მის ბაზაზე დამზადებული კომპოზიტები $^{11}B_4C-ZrB_2$ კონკურენტუნარიანი კერამიკული მასალებია და, როგორც სრიალის საკისრები, ბირთვული რეაქტორების მშრალი ხახუნის კვანძებში გამოიყენება.

ლიტერატურა

1. I.A. Bairamashvili, M.V. Galustashvili, J.Sh. Jobava, V.G. Kvatchadze, Z.Z. Mestvirishvili. Composite ceramics based on boron carbide enriched in isotope ^{11}B as a promising radiation resistant structural material – in Russian. *Nano Studies*, vol. 8 (2013), 305-310.
2. Vladislav Domnich, Sara Reynaud, Richard A. Haberland Manish Chhowalla. Boron Carbide: Structure, Properties and Stability under Stress. *J. Am. Ceram. Soc.*, 94, (11) (2011), 3605–3628 .
3. Zviad Mestvirishvili, Irakli Bairamashvili, Vakhtang Kvatchadze and Nugzar Rekhviashvili. Thermal and Mechanical Properties of B_4C-ZrB_2 Ceramic Composite. *Journal of Materials Science and Engineering B*, 5 (9-10) (2015), 385-393.
4. Kevin Gillet, Guido Roma, Jean-Paul Crocombette, Dominique Gosset. The influence of irradiation induced vacancies on the mobility of helium in boron carbide. *Journal of Nuclear Materials*, Vol. 512 (2018), 288-296.
5. Dominique Gosset, Bernard Kryger, Jean-Pierre Bonal, Caroline Verdeau, Karine Froment. Evolution of thermo-physical properties and annealing of fast neutron irradiated boron carbide. *Journal of Nuclear Materials*. Vol. 500(2018), 166-175.
6. Yu.A. Bykovskii, K.N. Zatsev, P.D. Kervalishvili, I.N. Nikolaev, A.A. Portnov, S.O. Shalamberidze. Neutron fluence sensor based on boron carbide. *Technical Physics Letters*, Vol. 19, Issue 7 (1993), 457-458.
7. P.J. Kervalishvili, G.S. Karumidze, Sh.Sh. Shavelashvili, G.I. Kalandadze, S.O. Shalamberidze. Semiconductor sensor for neutrons. *Sensors and Actuators A*, 36 (1993), 43-45.
8. P.D. Kervalishvili, S.O. Shalamberidze, Yu.A. Bykovskii. Oriented boron carbide films produced by laser spraying. *American Institute of Physics*, (1991), 524-527.
9. Zviad Mestvirishvili, Vakhtang Kvatchadze, Irakli Bairamashvili, Nikoloz Jalabadze, Tornike Mestvirishvili. Development of the method of production of the ultrafine macrohomogeneous composite pow-

- der. *Materials Science and Technology*. Vol. 36, Issue 3 (2020) 323-333.
10. S. N. Perevislov, P. V. Shcherbak and M. V. Tomkovich. HIGH DENSITY BORON CARBIDE CERAMICS. *Refractories and Industrial Ceramics*. Vol. 59. No.1. 2018 33-37.
 11. Helmut Werheit, Murli H. Manghnani, Udo Kuhlmann, Anwar Hushur, Sul Khan Shalamberidze. Mode Grüneisen parameters of boron carbide. *Solid State Sciences*, 72 (2017), 80-93.
 12. B. Malmal Moshtaghioun, Diego Gomez-Garcia, Arturo Dominguez-Rodriguez. Richard I. Todd. Grain size dependence of hardness and fracture toughness in pure near fully-dense boron carbide ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 36 Issue 7, (2016) 1829–1834.
 13. Akihiro Nino, Ayumi Tanaka, Shigeaki Sugiyama and Hitoshi Taimatsu. Indentation Size Effect for the Hardness of Refractory Carbides. *Materials Transactions*, Vol. 51, No. 9 (2010), 1621-1626.
 14. Atta U. Khan, Vladislav Domnich and Richard A. Haber. Boron carbide-based armors: Problems and possible solutions. *American Ceramic Society Bulletin*, Vol. 96, No. 6, 30-36.
 15. Kovziridze Z., Mestvirishvili Z., Tabatadze G., Nizharadze N., Mshvildadze M., Nikoleishvili E. Improvement of Boron Carbide Mechanical Properties in B₄C-TiB₂ and B₄C-ZrB₂ Systems. *Journal of Electronics Cooling and Thermal Control*. Vol.3 No2 (2013) 43-48.
 16. Tao Jianga, Haiyun Jinb, Zhihao Jina, Jianfeng Yanga and Guanjun Qiaoa. An investigation of the mechanical property and thermal shock behavior of machinable B₄C/BN ceramic composites. *Journal of Ceramic Processing Research*. Vol. 10, No. 1 (2009), 113-116.
 17. B. Malmal Moshtaghioun, Angel L. Ortiz, Diego Gómez-García, Arturo Domínguez-Rodríguez. Toughening of super-hard ultra-fine grained B₄C densified by spark-plasma sintering via SiC addition. *Journal of the European Ceramic Society*, Volume 33(2013) 1395–1401.
 18. Matthew DeVries, Ghatu Subhash. Influence of carbon nanotubes as secondary phase addition on the mechanical properties and amorphization of boron carbide. *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 39 Issue 6 (2019), 1974–1983.
 19. T.S.R. CH. MURTHY, SAIRAM ANKATA, J.K. SONBER, K. SAIRAM, KULWANT SINGH, A. NAGARAJ, P. SENGUPTA, R.D. BEDSE, SANJIB MAJUMDAR, VIVEKANAND KAIN. MICROSTRUCTURE, THERMO-PHYSICAL, MECHANICAL AND WEAR PROPERTIES OF IN-SITU FORMED BORON CARBIDE – ZIRCONIUM DIBORIDE COMPOSITE. *Ceramics-Silikáty*, 62 (1), (2018) 15-30.
 20. В.Д. Рисованный, А.В. Захаров, Е.П. Клочков, В.Б. Пономаренко, Е.М. Муралева, Т.М. Гусева, Поглощающие материалы стержней управления ядерных реакторов. Ульяновск 2012, 57-95.
 21. Henry Rihard Pasaribu. Friction and wear of zirconia and alumina ceramics doped with CuO. Ph.D Thesis, University of Twente, Enschede, the Netherlands. February 2005. P 162.
 22. Jong-Ee Park, Abdullah Oztuk, Sang-Hee You, Sam-Sik Park, Wom-Tae Bae and Dong-Woo Shin. Effect of microstructure on the tribological properties of apatite-wollastonite glass ceramic. *Journal of Ceramic Processing Research*. Vol. 9, No. 3 (2008) 230-233.
 23. М.С. Болдин, Н.В. Сахаров, С.В. Шотин, В.Н. Чувильдеев, А.В. Нохрин, Д.Н. Котков, А.В. Писклов. КОМПОЗИЦИОННЫЕ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ ДЛЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ. *Физика твёрдого тела*, №6, 1 (2012) 32-37.
 24. Н.Л. Савченко, Т.Ю. Саблина, С.Н. Кульков. ОСОБЕННОСТИ ТРИБОЛОГИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ТРЕНИЯ. *Механика и машиностроение*. №4, 3 (2011), 857-862.
 25. Huang Dan, Chen Wei-ping, Zhang Shao-yang, Se Zeng-xian. Dry friction wear performance of SiC 3D continuous ceramic frame reinforced 7075Al alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. Vol. 20 (2010) 54-58.

26. J. M. Carrapichano, J.R. Gomes, R. F. Silva. Tribological behavior of Si₃N₄-BN ceramic materials for dry sliding applications. *Wear*, Vol. 253 (2002) 1070-1076.
27. Fang Wu, Sheng-Ming Xu, Song-Zhe Chen, Lin-Yan Li, Gang Xu and Ling-Sen Wang. Microtribological Behavior of Boron Carbide Self-Mated Pars. *Key Engineering Materials*, Vol. 336-338 (2007) 1740-1742.
28. Wei Zhang, Seiji Yamashita and Hideki Kita. Effects of load on tribological properties of B₄C and B₄C-SiC ceramics sliding against SiC balls. *Journal of Asian Ceramic Societies*, Vol. 8, Issue 3 (2020) 586-596.
29. Wei Zhang. A review of tribological properties for boron carbide ceramics. *Progress in Materials Science*. Vol. 116, February 2021. 100718. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2020.100718>

UDC 666.3/7

¹¹B₄C AND ¹¹B₄C-Zr¹¹B₂ SELF-LUBRICATING CERAMICS FOR DRY FRICTION KNOTS OF NUCLEAR REACTOR

Z. Mestvirishvili^{1,2}, D. Gventsadze³, V. Kvatchadze⁴, A. Mikeladze⁵, Ir. Bairamashvili^{4,5}, Z. Kovziridze¹

¹Georgian Technical University, 77 Kostava St., Tbilisi, 0160, Georgia

²Sokhumi Silvecu-Physics-Technical Institute, Mindeli st. 7, Tbilisi, 0186, Georgia

³Rafiel Agladze Institute of Electrochemistry and Inorganic Chemistry, Mindeli st. 11, Tbilisi, 0186, Georgia

⁴Elefther Andronikashvili Institute of Physics, Tamarashvili st. 6, Tbilisi, 0186, Georgia

⁵Ferdinand Tavadze Metallurgy and Materials Science Institute, MindeliSt. 8b, Tbilisi, 0186, Georgia

E-mail: zviad.mst@gmail.com

Resume: *Goal.* The goal of the study was to investigate tribological characteristics of isotope ¹¹B-enriched boron carbide and composites based on it.

Method. Tubular samples were prepared by hot pressing of boron carbide powders at 2000-2140°C under pressure of 22-39 MPa. Tribological characteristics were determined with the help of friction machine of the IM58 type. X-ray diffraction, optical and electron-microscopic studies of the samples were performed.

Results. ¹¹B₄C and ¹¹B₄C-Zr¹¹B₂ high density ceramics were obtained to investigate their tribological characteristics. Ceramics of all three composition showed low friction coefficients at 0.1 MPa pressure and at 1000-1500 rpm. Among those composites was distinguished a sample composed of 11B₄CZr₅, which showed high wear resistance and low friction coefficient of 0.13 under the long-term test conditions, at the distance of 30 km, at the pressure of 0.1 MPa and 2500 rpm. The 11B₄CZr₅ composite was also distinguished for its highpressure resistance (0.15 MPa), where it showed the best friction coefficient of 0.11 at 1500 rpm.

Conclusion. Low friction coefficient of the developed ceramic materials at 0.1 MPa pressure and 1000-1500 rpm is caused due to the tribochemical reaction forming a thin tribo-layer of boric acid - solid oil (third body), while the stability of 11B₄CZr₅ composite is due to the refinement of boron carbide microstructure and the increase in elasticity. According to the results, ¹¹B₄C, enriched with isotope ¹¹B, as well as the composites based on it - ¹¹B₄C-Zr¹¹B₂ are competitive ceramic materials for use in dry friction nodes of nuclear reactors e.g. as slip bearings.

Keywords: Boron carbide; friction coefficient; wear resistance; nuclear reactor.

უაკ 543.42

ცირკონიუმის (IV) 2,3,4-ტრიჰიდროქსიფენილ-აზო-5'-სულფონაფთალინთან კომპლექსწარმოქმნის შესწავლა მესამე კომპონენტის თანაობისას

ც. ფანჩიძე-წიგნაძე¹, მ. ცინცაძე¹, ნ. იმნაძე¹, ფ. ჩირაგივი²

¹ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქიმიის დეპარტამენტი. საქართველო, 0160, ქ. თბილისი, კოსტავას 69

² ბაქოს სახელმწიფო უნივერსიტეტი, აზერბაიჯანი, 1148, ბაქო, ხალილოვის 23

E-mail: w.tsintsadze@gtu.ge

რეზიუმე: მიზანი. ამ სამუშაოს მიზანია Zr(IV)-ის კომპლექსწარმოქმნის შესწავლა 2,3,4-ტრიჰიდროქსიფენილ-აზო-5'-სულფონაფთალინთან (R) გუანიდინის (G), დიფენილგუანიდინის (DPG) და ტრიფენილგუანიდინის (TPG) თანაობისას და სამრეწველო ობიექტებში ცირკონიუმის განსაზღვრის შერჩევითი/სელექციური ფოტომეტრიული მეთოდის შემუშავება.

მეთოდი. ხსნარების ოპტიკური სიმკვრივე გაიზომა Lambda-40 სპექტროფოტომეტრზე კომპიუტერული პროგრამული უზრუნველყოფით (Perhui-Elmer) და KFK-2 ელექტროკოლორიმეტრზე (1-cm); ხსნარის pH მჟავიანობა – pH მეტრზე, PHS-2S მარკის გამოყენებით: pH მეტრი. ხსნარების ხვედრითი ელექტროგამტარობა კი – KEL-1 მგ კონდუქტომეტრზე.

შედეგი. სპექტროფოტომეტრიული მეთოდით შესწავლილ იქნა ცირკონიუმის(IV) კომპლექსწარმოქმნა 2,3,4-ტრიჰიდროქსიფენილ-აზო-5'-სულფონაფთალინთან გუანიდინის, დიფენილგუანიდინისა და ტრიფენილგუანიდინის თანაობისას. დადგინდა შერეულიგანდიანი კომპლექსების წარმოქმნის ოპტიმალური პირობები. გამოვლინდა ბერის კანონზე დაქვემდებარება. სხვადასხვა მეთოდით განისაზღვრა მორეაგირე კომპონენტების თანაფარდობა. ასევე შესწავლილია უცხო იონების და შემნიღბავი ნივთიერებების გავლენა ცირკონიუმის(IV) კომპლექსწარმოქმნაზე.

დასკვნა. მესამე კომპონენტების თანაობისას მიღებულია შერეულიგანდიანი კომპლექსნაერთები Zr(IV) – R – G, Zr (IV) – R – DPG, Zr (IV) – R – TPG,

თანაფარდობით 1:1:1. ყველა წარმოქმნილი კომპლექსნაერთის მდგრადობა ბინარულ კომპლექსთან შედარებით იზრდება. შესწავლილია გარე იონების და შემნიღბავი ნივთიერებების გავლენა ცირკონიუმ(IV)-ის კომპლექსწარმოქმნაზე მესამე კომპონენტის არ არსებობისას და თანაობისას. აღმოჩნდა, რომ მესამე კომპონენტის არსებობისას რეაქციის შერჩევითობა იზრდება. შემუშავებული მეთოდები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ბუნებრივ და სამრეწველო ობიექტში მის დასადგენად.

საკვანძო სიტყვები: ცირკონიუმი; კომპლექსწარმოქმნა; სპექტროფოტომეტრიული მეთოდით; შერეულიგანდიანი კომპლექსი; გუანიდინი; დიფენილგუანიდინი; ტრიფენილგუანიდინი.

1. შესავალი

ლიტერატურაში ცნობილია, რომ აზონაერთები ფართოდ გამოიყენება ცირკონიუმის(IV) ფოტომეტრიული განსაზღვრისთვის [1-7]. ცირკონიუმის განსაზღვრის მრავალი სპექტროფოტომეტრიული მეთოდი არსებობს ერთსახელა და შერეულიგანდიანი კომპლექსური ნაერთების სახით, რომელთა შორის ფართოდ გამოიყენება აზონაერთები და ჟანგბადშემცველი ხელატური რეაგენტები [8-13]. ლიტერატურული მონაცემების ზოგიერთ ნაშრომში ასევე მოცემულია ცირკონიუმ(IV)-ის ფოტომეტრიული განსაზღვრა კათიონური ზედაპირული ნივთიერებებით, ჰიდროფობური ამინებით და პირაგალოლის საფუძველზე ორგანული აზონაერთების სახით [5, 11, 12].

ამ სამუშაოს მიზანია Zr(IV)-ის კომპლექს-
წარმოქმნის შესწავლა 2,3,4-ტრიჰიდროქსიფენილ-
აზო-5'-სულფონაფთალინთან (R) მესამე კომპო-
ნენტების - გუანიდინის (G), დიფენილგუანიდინის
(DPG) და ტრიფენილგუანიდინის (TPG) თანაობი-
სას მეთოდის შემუშავება, ასევე სამრეწველო ობი-
ექტებში ცირკონიუმის განსაზღვრის შერჩევითი
ფოტომეტრული.

2. ძირითადი ნაწილი

ექსპერიმენტული ნაწილი. რეაგენტი სინთე-
ზირებული იყო, როგორც აღწერილია [14]-ში, მისი
შედგენილობა და სტრუქტურა განისაზღვრა ელე-
მენტარული ანალიზით და იწ-სპექტროსკოპიით.

ცირკონიუმ(IV) - ის სტანდარტული $1 \cdot 10^{-3}$ M
ხსნარი მომზადდა ლითონის გამოთვლილი აწო-
ნილი წონაკის H_2SO_4 - ში გახსნით, როგორც ეს
აღწერილია მეთოდიკაში [15]. სამუშაო $1 \cdot 10^{-3}$ M
ხსნარი მიიღება საწყისი ხსნარის გამოხდილი/
დისტილირებული წყლით განზავებით. მესამე
კომპონენტად გამოყენებული იყო გუანიდინი (G),
დიფენილგუანიდინი (DPG) და ტრიფენილ-
გუანიდინი (TPG). სამუშაო 10^{-3} M ხსნარი მზად-
დებოდა შესაბამისი აწონილი წონაკების წყალ-
ეთანოლის ნარევი გახსნით. ყველა გამოყენებული
რეაგენტი იყო „ა.ა.ა.“ კვალიფიკაციის, ანალიტი-
კური ხარისხის. საჭირო მჟავიანობის შესაქმნელად
გამოვიყენეთ აცეტატ-ამიაკის ბუფერული ხსნარე-
ბი (pH 3 - 11) და HCl (pH 0 - 2).

ხსნარების ოპტიკური სიმკვრივე გაიზომა
Lambda-40 სპექტროფოტომეტრზე კომპიუტერული
პროგრამული უზრუნველყოფით (Perhiu-Elmer) და
KFK-2 ელექტროკოლორიმეტრზე (1-cm); ხსნარის

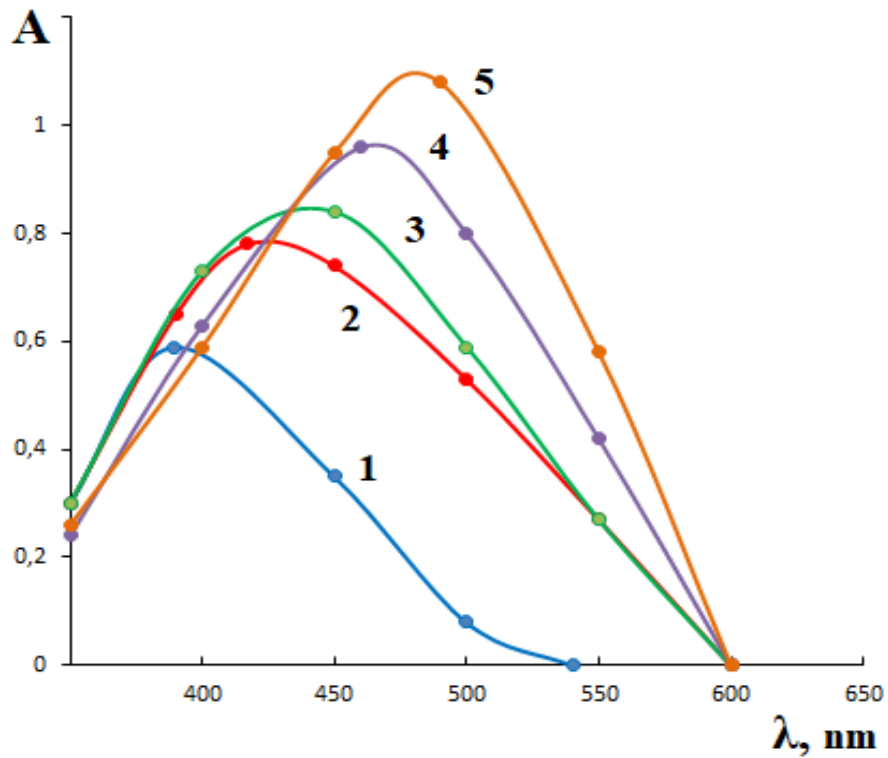
pH მჟავიანობა – pH მეტრზე, PHS-2S მარკის
გამოყენებით, ხოლო ხსნარების ხვედრითი ელექ-
ტროგამტარობა – KEL-1 მგ კონდუქტომეტრზე.

შედეგები და მათი განსჯა

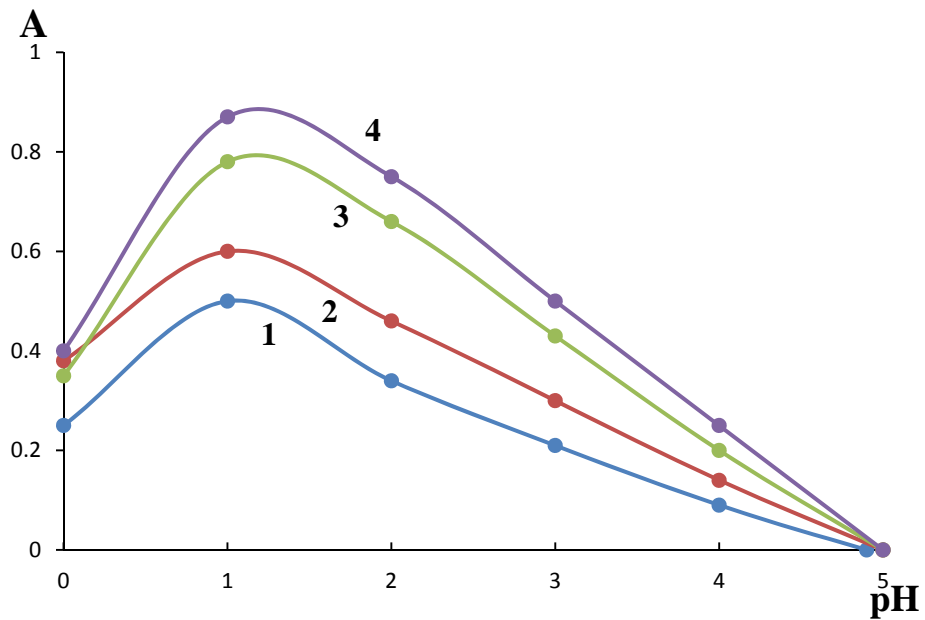
ჩვენ მიერ ადრე უკვე შესწავლილ იყო ცირკო-
ნიუმის(IV) კომპლექსწარმოქმნა 2,3,4-ტრიჰიდროქ-
სიფენილ-აზო-5'-სულფონაფთალინთან (R). აღმო-
ჩნდა, რომ რეაგენტის სინათლის შთანთქმა მაქ-
სიმალურია 382 ნმ-ზე, მისი ბინარული კომპ-
ლექსის 430 ნმ-ზე მნიშვნელობისას.

გამოკვლეულია ბინარულ კომპლექსზე მესამე
კომპონენტის გავლენა. G, DPG და TPG-ის თანა-
ობისას მიღებული კომპლექსის შესწავლამ, pH-ის
ფართო დიაპაზონში, აჩვენა, რომ მესამე კომპო-
ნენტის გავლენით წარმოიქმნება შერეულიგან-
დიანი კომპლექსნაერთი Zr(IV) - R - G, მაქსიმა-
ლური შუქმთანთქმით $\lambda=452$ ნმ-ს, Zr(IV) - R - DPG
 $\lambda=461$ ნმ-ს, ხოლო Zr (IV) - R - TPG $\lambda=470$ ნმ-ს
(სურ. 1).

შერეულიგანდიანი კომპლექსის შთანთქმის სპე-
ქტრი შესწავლილ იქნა R - PG, R - DPG და R - TPG
საკონტროლო ცდის საფუძველზე. მესამე კომპო-
ნენტების გავლენით, ყველა წარმოქმნილი შერე-
ულიგანდიანი კომპლექსნაერთის ოპტიკური სი-
მკვრივე, ბინარულ კომპლექსთან შედარებით, იზ-
რდება. ასევე აღმოჩნდა, რომ მესამე კომპონენტის
თანაობისას შეინიშნება ბატაქრომული ეფექტი,
რაც განპირობებულია იმით, რომ მესამე კომპო-
ნენტის ურთიერთქმედების შედეგად ადგილი აქვს
რეაგენტის π -ელექტრონული სისტემის დელოკა-
ლიზაციას. ბინარულ კომპლექსთან შედარებით
შერეულიგანდიანი კომპლექსის ოპტიკალური
pH არ იცვლება (სურ. 2).



ნახ.1. ცირკონიუმ(IV) - ის შთანთქმის სპექტრი: 1. R, 2. Zr(IV) - R, 3. Zr(IV)-R-PG, 4. Zr(IV) - R - DPG, 5. Zr(IV) - R - TPG



სურ. 2. pH-ის გავლენა ცირკონიუმ(IV)-ის კომპლექსების შთანთქმაზე შედარებითი საკონტროლო ცდით: 1. Zr(IV) - R, 2. Zr(IV) - R, 3. Zr(IV) - R - TG, 4. Zr(IV) - R - DPG, 5. Zr(IV) - R -TPG

ოპტიმალური პირობების დასამყარებლად შესწავლილ იქნა მორეაგირე ნივთიერებების კონცენტრაციის, ტემპერატურისა და დროის გავლენა ბინარული და შერეულლიგანდიანი კომპლექსების წარმოქმნაზე. ექსპერიმენტი ჩატარდა $pH_{\text{ობტ}}$ -ზე, λ_{max} -ზე თითოეული კომპლექსისთვის. მიღებული

მონაცემების საფუძველზე დადგინდა, რომ Zr(IV) - R კომპლექსის გამოსავლიანობა მაქსიმალურია $8 \cdot 10^{-5} \text{ M R-ზე}$; Zr(IV) - R - G $8 \cdot 10^{-5}$ - ზე M R და $8 \cdot 10^{-4} \text{ M PG}$, Zr(IV) - R- DPG $8 \cdot 10^{-5} \text{ M R-ზე}$ და $6 \cdot 10^{-4} \text{ M DPG}$, Zr(IV) - R-TPG $8 \cdot 10^{-5} \text{ M}$ და $5.2 \cdot 10^{-4} \text{ M TPG}$.

ცხრილი 1

**ცირკონიუმ(IV) -ის ფოტომეტრიული განსაზღვრის შერჩევითობა
მესამე კომპონენტის თანაობისას**

კომპლექსი	$pH_{\text{ობტ}}$	λ_{max} , ნმ	$\Delta\lambda$, ნმ	$E \cdot 10^{-4}$	M: R:T,K	ბერის კანონზე დაქვემდებარება
Zr (IV)-R1	1,0	430	48	1,4	1:2	0,73-4,37
Zr (IV)-R-GU	1,0	452	70	1,65	1:2:2	0,36-3,65
Zr (IV)-R- DPG	1,0	461	79	2,0	1:2:2	0,18-3,65
Zr (IV)-R -TPG	1,0	470	88	2,2	1:2:2	0,18-3,65

ხსნარების შერევის შემდეგ წარმოიქმნება ჰომოგენური და შერეულლიგანდიანი კომპლექსები; ამასთანავე დადგინდა, რომ ბინარული კომპლექსი წარმოიქმნება 2 საათის განმავლობაში 50°C -მდე გათბობისას, მაშინ როდესაც შერეულლიგანდიანი კომპლექსნაერთები - ორი დღის შემდეგ 80°C -მდე გათბობისას.

მიღებული კომპლექსების შედგენილობაში კომპონენტების თანაფარდობა დადგინდა იზომოლარული სერიის მეთოდით, სტარიკ - ბარბანელის ფარდობითი გამოსავლით და წონასწორობის გადანაცვლებით [16].

სტარიკ-ბარბანელის მეთოდი საშუალებას იძლევა ზუსტად შეფასდეს სტოქიომეტრიული კოეფიციენტები და გამოყენებულ იქნეს ნებისმიერ სტექიომეტრიულ რეაქციაში, მიუხედავად მორეაგირე ნივთიერებების კონცენტრაციის სტაბილურობისა.

ამ მეთოდის გამოყენებით, კომპლექსის შედგენილობის დასადგენად, მზადდებოდა ხსნარების სერია $C_{\text{me}} - \text{const}$ რეაგენტის კონცენტრაციის ცვლილებით. შემდეგ დგებოდა დამოკიდებულების გრაფიკი $A/C_{\text{R}}-A/A_{\text{max}}$ ($C_{\text{Me}}-\text{const}$) კოორდი-

ნატებში. ყველა მეთოდით მიღებული მონაცემების საფუძველზე დადგინდა, რომ ბინარულ კომპლექსებში კომპონენტების თანაფარდობაა 1:1:1.

წინა ნაშრომებში მრუდების გადაკვეთის მეთოდით განისაზღვრა ბინარული კომპლექსის Zr(IV) - R-ის სტექიომეტრია და მდგრადობის მუდმივა. მითითებული მეთოდებით მიღებული შედეგები განისაზღვრა სტექიომეტრიით და აღმოჩნდა, რომ $\log \beta = 6,8 \pm 0,1$. დადგინდა, რომ მესამე კომპონენტის თანაობისას კომპლექსების მდგრადობა/ სტაბილურობა იზრდება $\log \beta$ (Zr (IV) - R- GU) = $7,7 \pm 0,14$; $\log \beta$ (Zr (IV) - R-DFG) = $8,8 \pm 0,17$; $\log \beta$ (Zr (IV) -R- TFG) = 9.0 ± 0.18 .

ასევე, შესწავლილ იქნა უცხო იონების და შემნიღბავი ნივთიერებების გავლენა ცირკონიუმ(IV)-ის კომპლექსწარმოქმნაზე მესამე კომპონენტის არ არსებობისას და თანაობისას. აღმოჩნდა, რომ მესამე კომპონენტის არსებობისას რეაქციის სელექციურობა/შერჩევითობა იზრდება (ცხრილი 2).

შემუშავებული მეთოდები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ბუნებრივ და სამრეწველო ობიექტში მის დასადგენად.

ციკლონიუმ(IV) - ის ფოტომეტრიული მეთოდით განსაზღვრის
შერჩევითობა მესამე კომპონენტის თანაობისას

უცხო იონები	Zr (IV) – Me დასაშვები თანაფარდობა				
	R	R - GU	R - DFG	R- TFG	ერიოქრომ შავის τ- პროპილდიანტიპირილმეთანი
ტუტე მეტალები	3000	4000	4500	4500	17
Ca (II)	44	480	670	720	500
Mg (II)	80	220	660	730	500
Ba (II)	340	200	660	710	500
Cu (II)	7	80	120	120	12
Co (II)	194	380	700	710	-
Ni (II)	323	405	760	810	20
Mn (II)	180	395	740	785	200
Zn (II)	256	325	650	675	500
Cd (II)	616	830	1060	1140	-
Pb (II)	23	80	110	110	-
Sn (II)	0,3	8,0	12	15	50
Al (III)	1,0	16	29	31	100
Ga (III)	77	145	310	335	-
Yu (III)	63	110	350	350	-
Fe (III)	13	24	53	50	10
Cr (III)	200	310	720	750	-
Bi (III)	3	9	17	21	50
Ti (IV)	5	20	35	50	-
Hf (IV)	1,0	7	18	25	-
Tu (IV)	255	310	490	670	2
Mo (VI)	0,5	8	267	29	20
W (VI)	2	9	35	40	-
U (VI)	297	460	620	680	-
F ⁻	2	4	7	9	-
CrO ₄ ²⁻	7	4	12	12	-
HPO ₄ ²⁻	78	120	195	190	-
ტრიუნ - 5	83	160	240	320	-
ღვინის მჟავა	490	510	590	620	-
ლიმონმჟავა	210	360	425	480	-
თიოზარდოვანა	84	200	260	260	-

3. დასკვნა

მესამე კომპონენტების თანაობისას მიღებულია შერეულიგანდიანი კომპლექსნაერთები Zr(IV) – R – G, Zr(IV) – R – DPG, Zr(IV) – R – TPG, თანაფარდობით 1:1:1. ყველა წარმოქმნილი კომპლექსნაერთის მდგრადობა ბინარულ კომპლექსთან შედარებით იზრდება. შესწავლილია გარე იონების და შემნიღბავი ნივთიერებების გავლენა ცირკონიუმ (IV)-ის კომპლექსწარმოქმნაზე მესამე კომპონენტის არ არსებობისას და თანაობისას. აღმოჩნდა, რომ მესამე კომპონენტის არსებობისას რეაქციის შერჩევითობა იზრდება. შემუშავებული მეთოდები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ბუნებრივ და სამრეწველო ობიექტში მის დასადგენად.

ლიტერატურა

1. Иванов В.Ш., Вилкова О.М., Фигуровская В.Н., Фотометрические определения Zr в сталях 3,4-диоксиазобензолом/Вестник МГУ сер.2.,Химия 1990,31,№ 3, с.270-273.
2. Манджугаладзе О.В., Мчекадзе Н.С., Базиерамвили К.Г., Спектрофотометрическое изучение Zr с 1-(2-пиридилазо)-2,4-диоксиазобензолом. Изв. АН Груз. ССР. сер.хим. 1980, 6,№1,с.27-32.
3. Нагиев Х.Д., Гюллярли У.А., Гамбаров Д.Г., Чырагов Ф.М., Спектрофотометрические исследования комплексов циркония (IV) с 2,2',3,4-тетраокси-3'-сульфо-5'-хлоро бензолом и гидрофобными аминами. Химия и химическая технология 2003,Т46, № 3, с.138-141.
4. Манджугаладзе О.В., Броугек Ф.И., Телия Н.М., Цветные реакции Zr(4+), Pb(2+), Ag(1+) и фотометрические возможности азопроизводных на основе пиридина. Изв.АН Груз. ССР. сер. хим. 2001, 27, № 1-2, с.14-28.
5. Uysal U.D., Huseynli A.A., Guray T., Rapid direct spectrophotometric determination of zirconium (IV) in alloys with 2,2',3,4-tetrahydroxy-3'-sulpho-5'-chloroazobenzene. Journal of scientific Industrial Research 70.45.2011.
6. Alaa S. Amin. Novel approach for the determination of zirconium by solid-phase spectrophotometry. Journal of Talibah University 9, 2015, p.227-236.
7. Muk Aurora A., Pokidysheva Irida O. Spectrophotometric determination of Zr with arsenazo III in perchloric acid media. Глас.хим.Белград 1979.
8. Шарма В., Ниджаван Н.А., Рао А.Л., 3-гидроксо-(2-2'-тменил)-4Н-хроман-4-он как реагент для спектрофотометрического определения следов Zr в водных растворах. Журнал аналитической химии, 2001, 56, № 9, с.940-942.
9. AbbaspurAbdolkarim, Baramakeh Leila, Simultaneous determination of zirconium and molibdenium by first-derivative spectrophotometry. Anal. Sci. 2002. V18, №10, p. 1127-1130.
10. Nijhawan Monica, Chakkal Anoop Kumar Kankar Lajpat R., Indian Y., Determination is track quantity of Zr with 3-hydroxy-2-(2'-tyenyl)-4Н-cromen-4-oH with application of solvent extraction. Chem. Anal. 2001, V40, №10, p.1124-1127.
11. Гюллярли У.А., Нагиев Х.Д., Гамбаров Д.Г., Чырагов Ф.М. Взаимодействиециркония (IV) с 2,3,4-тригидроксифенилазо-5'-сульфонафталиномвприсутствии диантипирилметана и его гомологов. Журнал Аналитической химии, 2006, Т 61, с. 604-607.
12. Нагиев Х.Д., Чырагов Ф.М., Гюллярли У.А., Определение Zr(IV) с 2,3,4-тригидроксифенилазо-5'-сульфонафталином в присутствии поверхностно-активных веществ. Журнал заводская лаборатория, 2003, Т69, №11, с.13-15.
13. Гамбаров Д.Г., Новый класс фотометрических реагентов-азосоединения на основе пирогаллола. Дис.докт.хим.наук, Москва 1984, 295 с.
14. Коростелев П.П., Приготовление растворов для химико-аналитических работ, М.Наука 1984, с. 261.
15. Булатов М.И., Калинин Н.П., Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. Химия 1986, 432 с.
16. Штокало М.И., Костенко Е.Е., Комплексообразование в системе цирконий-пропильдиантипирилметан-эрехромовый. Журнал Аналитической химии, 1990. – Т. 45, № 2. – С. 296-300.

UDC 543.42

COMPLEXOFORMATION AND SPECTROPHOTOMETRIC STUDY OF ZIRCONIUM (IV) WITH 2,3,4-TRIHYDROXYPHENYL-AZO-5'-SULFONAPHTHALENE IN THE PRESENCE OF THIRD COMPONENTS

TS. Panchvidze-Tsignadze¹, M.Tintsadze¹, N.Imnadze¹, F.Chiragov²

¹ Georgian Technical University, Department of Chemistry, Str Costava 69. 0175, Tbilisi. Georgia

² Baku State University, str. Academic Zahid Khalilov 23. 1148, Baku. Azerbaijan

E-mail: w.tsintsadze@gtu.ge

Resume: *Goal.* The aim of this study was to investigate the formation of the Zr (IV) complex in the presence of 2,3,4-trihydroxyphenyl-azo-5'-sulfonaphthalene (R) in the presence of guanidine (G), diphenylguanidine (DFG) and triphenylguanidine (TFG) and Development of a selective photometric method.

Method. The optical density of the solution was measured on a Lambda-40 spectrophotometer with computer software (Perhiu-Elmer) and on a KFK-2 electrocolorimeter (1-cm); The pH acidity of the solution was measured in pH meters using the mark PHS-2S. pH meter. The specific conductivity of the solution was measured on a KEL-1mg conductometer.

Result. Zirconium (IV) complex formation was studied by spectrophotometric method in the presence of guanidine, diphenylguanidine and triphenylguanidine with 2,3,4-trihydroxyphenylazo-5'-sulfonaphthalene. Optimal conditions for the formation of mixed ligand complexes have been established. Subject to the monk's law is revealed. The ratio of reactive components is determined by different methods. Subject to the monk's law is revealed. The influence of foreign ions and disguises on the formation of zirconium (IV) complex has also been studied.

Conclusion. In the presence of the third component, mixed ligand complexes Zr (IV) - R - G, Zr (IV) - R - DPG, Zr (IV) - R - TPG are obtained in the ratio 1: 1: 1. The stability of all generated complexes increases compared to the binary complex. The effect of external ions and disguises on the complex formation of zirconium (IV) in the absence and presence of the third component is studied. It was found that in the presence of the third component the selectivity of the reaction increases. The developed methods can be used to determine it in a natural and industrial facility.

Key Words: Zirconium(IV); Complex formation; Spectrophotometric method; Mixed ligand complex; Guanidine; Diphenylguanidine; Triphenylguanidine.

უაკ 666.61

ფორიანი თბოსაიზოლაციო მასალების მიღება ადგილობრივი ნედლეულის გამოყენებით

ე. შაფაქიძე, ლ. გაბუნია, ი. ქამუშაძე, ი. გეჯაძე, თ. პეტრიაშვილი

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ალექსანდრე თვალჭრელიძის სახელობის მინერალური ნედლეულის კავკასიის ინსტიტუტი. საქართველო, 0186, თბილისი, მინდელის 11

E-mail: elena.shapakidze@tsu.ge

რეზიუმე: მიზანი. არაორგანული სილიკატური თბოსაიზოლაციო მასალების შედგენილობის შემუშავება ადგილობრივი იაფი ნედლეულის საფუძველზე.

მეთოდი. ნიმუშები დამზადდა ნახევრად მშრალი დაწნეხის მეთოდით. თერმული დამუშავება ჩატარდა ლაბორატორიულ მუფელის ელექტროლუმელში. მინერალოგიურ-პეტროგრაფიული ანალიზისთვის გამოყენებულ იქნა პოლარიზაციული მიკროსკოპი Optika B-383POL (იტალია).

სითბოგამტარობა განისაზღვრა ИТП-МГ4 «100» ხელსაწყოზე.

შედეგი. დამუშავდა ფორიანი თბოსაიზოლაციო მასალის ახალი შედგენილობა, რომელიც ეფუძნება კომპლექსური ბუნებრივი და ტექნოგენური პოლიმინერალური ნედლეულის ერთობლიობას. შერჩეულ იქნა ოპტიმალური შედგენილობა, რომელიც განაპირობებს ნარევის შეცხოვისას ნალღობის პირობლასტიკური მდგომარეობის ტემპერატურის დაწევას; მოცულობაში თანაბრად განაწილებული ერთნაირი ზომის ფორების წარმოქმნას.

დასკვნა. ჩატარებული კვლევების საფუძველზე დადგინდა ყვარლის თიხაფიქლების (მდინარე დურუჯის ხეობა) გამოყენებით ფორიანი თბოსაიზოლაციო მასალების მიღების შესაძლებლობა ქაფწარმომქმნელი დანამატის გარეშე, ნედლეულის ნარევის თვითაფუების შედეგად, გამარტივებული ტექნოლოგიით, მინის წინასწარი მაღალტემპერატურული ხარშვის პროცესის გამორიცხვით.

საკვანძო სიტყვები: ფორიანი თბოსაიზოლაციო მასალა; ენერგოეფექტურობა; თვითაფუება; თიხაფიქალი.

1. შესავალი

თანამედროვე პირობებში სათბობი რესურსების დაზოგვის აუცილებლობამ მთელ მსოფლიოში ხელი შეუწყო ენერგოეფექტური მასალების წარმოების ტექნოლოგიების განვითარებას, მათ შორის თბოსაიზოლაციო მასალების წარმოებას, რომელთა ძირითადი დანიშნულებაა ნაგებობების და ცხელი ზედაპირების თბური იზოლაცია თბოდანაკარგების თავიდან აცილების მიზნით.

სამშენებლო თბოსაიზოლაციო მასალების გამოყენება ხელს უწყობს ნაგებობებისა და კონსტრუქციების საერთო მასის შემცირებას, იზოგება საშენი მასალები – რკინა, აგური, ბეტონი და, რაც მთავარია, სათბობი.

მსოფლიოში ამჟამად იწარმოება ორგანული თუ არაორგანული წარმოშობის სხვადასხვა სტრუქტურის თბოსაიზოლაციო მასალები როგორც დაყალიბებული ნაკეთობის (ფილები, ბლოკები) ფორმით, ისე ნაყარის (ხრეში, მინერალური ზამბა, აფუებული პერლიტი) სახით განსხვავებული ტექნოლოგიების საფუძველზე.

თბოსაიზოლაციო მასალის ხარისხი განპირობებულია ფუნქციური და სამშენებლო-საექსპლუატაციო მაჩვენებლების ერთობლიობით, როგორცაა თბოგამტარობა, ფორიანობა, დაბალი მოცულობითი მასა, გამოყენების ტემპერატურა, ასევე მექანიკური სიმტკიცე, ქიმიური, წყლის, ბიოლოგიური და ტემპერატურის ზემოქმედების მიმართ მდგრადობა, ცეცხლმდეგობა. ორგანული წარმოშობის მასალებისგან განსხვავებით, არაორგანული მასალების უპირატესობას წარმოადგენს მაღალი სიმტკიცე, გამოყენების მაღალი ტემპერატურა, მდგრადობა მიკროორგანიზმების, მღრღნელების, ქიმიუ-

რი რეაგენტების მიმართ, ცეცხლმედეგობა და ხან-მედეგობა.

თბოსაიზოლაციო მასალები წარმატებით გამოიყენება მშენებლობაში მსუბუქი ტიხრების მოსაწყობად და კარკასული კონსტრუქციების შესასვებად; აგურის, რკინაბეტონის, ხის კედლების დასათბუნებლად; იატაკის და სართულშორისი გადახურვის იზოლირებისათვის. 5 სმ-იანი სისქის თბოსაიზოლაციო ფილა თბოგამტარობის 0,04-0,05 ვტ/(მ·K) კოეფიციენტით ცვლის დაახლოებით 50 სმ-იანი სისქის აგურის კედელს [1].

ფორიანი მასალის ზედაპირისა და გვერდების ჩამოხერხვისას, როცა ზედაპირული ქერქი სცილდება, ფორები შიშვლდება, რაც უზრუნველყოფს მასალის შეჭიდულობის ზრდას შემკვერელ ნივთიერებასთან მისი მონტაჟის დროს კედლებსა და ტიხრებში.

თბოსაიზოლაციო მასალის თბოგამტარობის დაბალ მაჩვენებლებს და სიმსუბუქეს უზრუნველყოფს მასალის ფორებიანი სტრუქტურა. ფორებიანი სტრუქტურის არაორგანული მასალებისაგან განსაკუთრებით აღსანიშნავია **ქაფმინა**. ის იწარმოება ბლოკების ან ფილების სახით და გამოიყენება, როგორც მზა კონსტრუქციულ-თბოსაიზოლაციო სამშენებლო მასალა იქ, სადაც, სხვებისგან განსხვავებით, მაღალი მექანიკური სიმტკიცის საჭიროებაა; გამოირჩევა მოცულობითი მასის მუდმივობით ექსპლუატაციის პირობებში, მაგრამ მის უარყოფით მხარედ შეიძლება ჩაითვალოს წარმოების მაღალი ენერგოტევადობა. ტექნოლოგიური პროცესის სირთულე, ენერგოტევადი თბური აგრეგატების გამოყენების აუცილებლობა, ტიპური მოწყობილობის და იაფი არადეფიციტური ნედლეულის არარსებობა გარკვეულწილად ზღუდავს ქაფმინის ფართოდ გამოყენებას.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, კონკრეტული პირობების გათვალისწინებით, როცა თანამედროვე მშენებლობაში უგულვებელყოფილია შენობების სითბოდაცვითი თვისებები, რის გამოც გაზრდილია ენერგომომხმარება ნაგებობების გათბობის მიზნით, მაშინ როცა საქართველოს საკუთარი სათბობ-ენერგეტიკული წყაროები არ გააჩნია და არც თბოსაიზოლაციო მასალები იწარმოება, ენერგოდანაკარგების

შემცირების ერთ-ერთ ხელშემწყობ საშუალებად შეიძლება ჩაითვალოს ახალი სამშენებლო თბოსაიზოლაციო მასალების წარმოება იაფი ბუნებრივი ნედლეულის საფუძველზე, მით უმეტეს, რომ საქართველოში მრავლად მოიპოვება ბუნებრივი მინერალური ნედლეული ეკოლოგიურად სუფთა თბოსაიზოლაციო მასალების საწარმოებლად.

ამრიგად, აქტუალური ხდება მსუბუქი არაორგანული თბოსაიზოლაციო მასალის მიღების ტექნოლოგიისა და ახალი შედგენილობის შემუშავება, რომელიც დაფუძნებული იქნება იაფი ადგილობრივი ნედლეულის გამოყენებასა და ტექნოლოგიური პროცესის გამარტივებაზე.

სამუშაოს მიზანია თბოსაიზოლაციო ახალი სილიკატური მასალის მიღება იაფი ნედლეულის საფუძველზე ამაფუბელი დანამატის გამოყენების გარეშე, ნარევის თვითაფუბების შედეგად; ასევე მინის წინასწარი მაღალტემპერატურული ხარშვის პროცესის და ცეცხლგამძლე ფორმების გამოყენების გამორიცხვით.

2. ძირითადი ნაწილი

ძირითად ნედლეულად შერჩეულ იქნა მდინარე დურუჯის ხეობის (ქ. ყვარლის მიმდებარე ტერიტორია) თიხაფიქლები, რომლებიც ხასიათდება აირწარმომქმნელი ნივთიერებების მნიშვნელოვანი შემცველობით, რის შედეგად ისინი თერმული დამუშავებისას მაღალტემპერატურულ ინტერვალში განიცდის თვითაფუბებას და წარმოქმნის მრავალრიცხოვან ფორებს [2-4]. როგორც კვლევებმა აჩვენა, აფუბების შედეგად წარმოქმნილი ფორების განაწილება მოცულობაში არათანაბარია, რაც გამოწვეულია თერმული დამუშავებისას მოცულობაში სიბლანტის გრადიენტის სხვადასხვა უბნის განსხვავებული ინტენსიურობით. აფუბების ტემპერატურა მერყეობს 1260-1280°C ფარგლებში.

აქედან გამომდინარე, ერთგვაროვანი სტრუქტურის მქონე თანაბარფორებიანი მასალის მიღება, ნედლეულის თვითაფუბების მეშვეობით, საჭიროებს ისეთი ტექნოლოგიური პარამეტრების გაუმჯობესებას, როგორცაა აფუბების ინტენსიურობის დარეგულირება, ნალღობის პიროპლასტიკური მდგომარეობის ტემპერატურის დაწვევა, აფუბების ინტერვალის გაფართოება, ოპტიმალური თვისე-

ბების მქონე მასალის მიღების შესაძლებლობის სტაბილურობა.

ამ საკითხების გადასაჭრელად შეირჩა სხვადასხვა სახის ბუნებრივი მაკორექტირებელი დანამატი, როგორცაა მჟავური შედგენილობის ვულკანური ქანები – დავით გარეჯის საბადოს კვარცა-ადულარიანი მეტასომატიტების სახით; მეტეხის საბადოს თიხა და თელეთის არგილიტი, ტექნოლოგიური ნარჩენები სხვადასხვა წიდის სახით.

დავით გარეჯის საბადოს კვარცა-ადულარიანი მეტასომატიტების შერჩევა განაპირობა მასში ტუტეოქსიდების, კერძოდ K_2O გაზრდილმა შემცველობამ, ასევე $BaSO_4$ არსებობამ, რომელიც მაღალ ტემპერატურაზე დისოციაციის შედეგად აირების სახით SO_2 გამოყოფს, რამაც, სავარაუდოდ, ხელი უნდა შეუწყოს ნარევის პიროპლასტიკურ მდგომარეობაში გადასვლას შედარებით დაბალ ტემპერატურულ ინტერვალში და ამაფუბელი აირების დამატებით წყაროს ქმნის.

მეტეხის თიხასა და თელეთის არგილიტში ალუმინსილიკატების არსებობა, ასევე ახალქალაქის პემზაში რკინის ოქსიდების და ტუტელითონების მაღალი რაოდენობა, სილიციუმის ოქსიდის დაბალ შემცველობასთან ერთად, უნდა გახდეს დაბალლობადი ევტექტიკის ჩამოყალიბების და პიროპლასტიკურ მდგომარეობაში გადასვლის ტემპერატურის შემცირებისთვის გადამწყვეტი ფაქტორი.

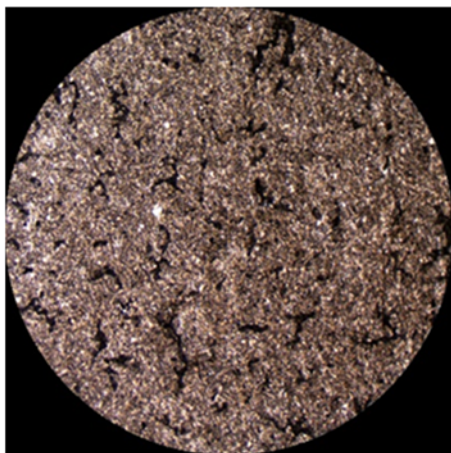
წარმოების ნარჩენები წიდების სახით, რუსთავის მეტალურგიული ქარხნის ბრძმედის ნაყარი წიდა, ასვე ზესტაფონის ფეროშენადნობთა წარმოების ქარხნის წიდა, ხასიათდება რკინისა და მანგანუმის ოქსიდების მაღალი შემცველობით, რომლებიც თერმული დამუშავებისას სხვადასხვა სახის აირს წარმოქმნის. ყოველივე ამან თიხაფიქლებთან მათი შეცხოების პროცესში უნდა გამოიწვიოს ნარევის ადვილლობადობა და გაზარდოს გამოყოფილი აირადი ნივთიერებების რაოდენობა.

ქვემოთ მოყვანილია თიხაფიქლების, თიხისა და არგილიტის მინერალოგიურ-პეტროგრაფიული ანალიზები.

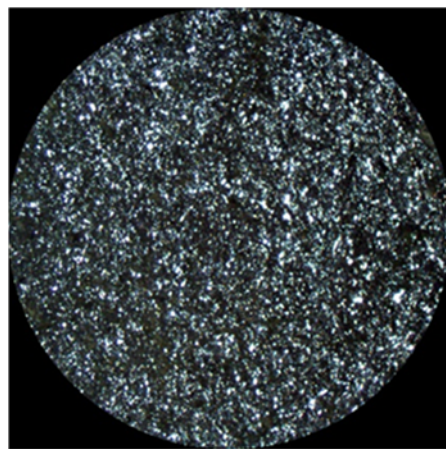
თიხაფიქალი (ყვარელი)

ქანის სტრუქტურა პელიტურია, სუსტად გამოხატული ფიქლებრივი ელემენტებით.

ქანის ამგები მინერალების გარჩევა მხოლოდ დიდი გადიდებით არის შესაძლებელი. 400-ჯერად გადიდებაზე დგინდება, რომ უმთავრესი კომპონენტები, რომლითაც პელიტური (თიხური) სტრუქტურის ქანია აგებული, წარმოდგენილია ქლორიტული და ჰიდროქარსული მინერალებით, რკინის ჰიდროქანგებით (ჰემატიტი) და ორგანული ნივთიერებით. შედარებით მსხვილ ფრაქციაში გაირჩევა კვარც-მინდვრისშპატური აუტიგენური მინერალები, რომლებიც ფიქლებრივი მიმართულებითაა ორიენტირებული. იშვიათად დაიკვირვება ეპიდოტი და სფენი (სურ. 1).



ა



ბ

სურ. 1. თიხაფიქლის მიკროფოტოები, გადიდება 100 x

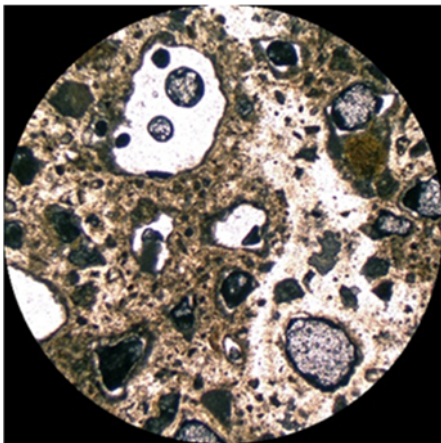
თიხა (მეტეხი)

ქანი მარილმჟავას მოქმედებით შიშინებს.

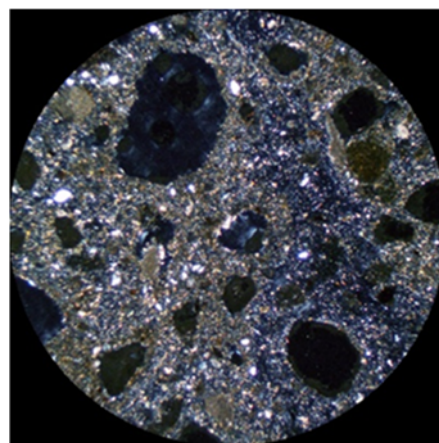
იქიდან გამომდინარე, რომ ნიმუშის მთლიანობა დარღვეულია, მიკროსკოპული და მაკროსკოპული შესწავლის დროს სტრუქტურის და ტექსტურის დადგენა შეუძლებელია.

შემორჩენილი ძირითადი მასის უმეტესი ნაწილი შედგება სხვადასხვა დროს ქრობადი პელიტური კარბონატულ-ქარსოვანი მინერალების, ნაწილობრივ კვარცის და მინდვრის შპატების მარცვლებისა და ნამსხვრევებისაგან. პელიტური მასა ძლიერ კარბონატიზებულია, დაიკვირვება აგრეთვე კალციტის მარცვლებიც. კვარცი მაღალი რელიეფით და ტალღბრივი ჩაქრობით ხასიათდება. მინდვრის შპატებიდან სჭარბობს პლაგიოკლაზების ნამსხვრევები, რომლებიც ძლიერ მეორეულ შეცვლას განიც-

დის. იშვიათად პლაგიოკლაზებს აღინიშნება პოლისინთეზური მრჩობლები, რომლის საშუალებითაც მოხერხდა რამდენიმე მარცვალზე ჩაქრობის კუთხის განსაზღვრა. ჩაქრობის კუთხე 30–35°-ია, რაც ანდეზინ-ლაბრადორის რიგის პლაგიოკლაზებს შეესაბამება. შლიფში დაიკვირვება პიროქსენების და ამფიბოლების ერთეული მარცვლები, რომლებიც რკინის ჟანგებით და მადნეული მინერალებით ჩაენაცვლება. კრისტალოკლასტური მასალის გარდა, აღინიშნება ლითოკლასტური მინარევები. ლითოკლასტური მასალა წარმოდგენილია მცირე ზომის პორფირული სტრუქტურის მქონე შეცვლილი ვულკანური ქანების ნამსხვრევებით. შლიფში ძალზედ იშვიათად დაიკვირვება გლაუკონიტის მარცვლები (სურ. 2). საერთო ჯამში ტერიგენური მინარევები ქანის 10%-ს არ აღემატება.



ა



ბ

სურ. 2 თიხის (მეტეხი) მიკროფოტოები, გადიდება 100 x

არგილიტი (თელეთი)

ქანის სტრუქტურა ალევროლითურია.

ალევროლითური სტრუქტურის ამგები მინერალები წარმოდგენილია კვარცით, პლაგიოკლაზით, კალციტით, გლაუკონიტით, შედარებით მცირე რაოდენობით პიროქსენით და ბიოტიტით, ქანის ლითოკლასტებით, ტურმალინით და ეპიდოტით.

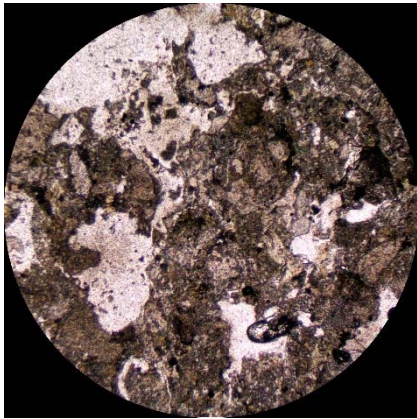
ყველაზე დიდი რაოდენობით კვარც-მინდვრის შპატების კლასტური, ქსენომორფული მარცვლებია გავრცელებული, მათი ზომა 0,05–0,08 მმ-ს არ აღემატება. მინდვრის შპატები რაოდენობრივად

სჭარბობს კვარცს და ძირითადად სოსურიტიზებული, შეცვლილი ფორმით გვხვდება, რომელთაც პოლისინთეზური მრჩობლი სუსტად ემჩნევა. ზოგჯერ პლაგიოკლაზები მთლიანადაა კარბონატიზებული და კალციტის ფსევდომორფოზებია შემორჩენილი მათ მიმართ.

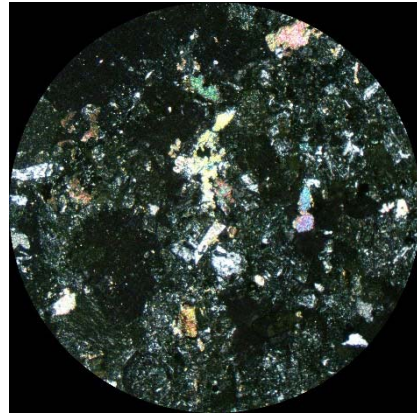
კარბონატული მასა წარმოდგენილია როგორც კალციტის მარცვლების სახით, ისე ანაცვლებს ალევრიტულ მარცვლებს შორის არსებულ ცემენტს. სხვა მინერალებიდან აღსანიშნავია პიროქსენის და ბიოტიტის ქლორიტიზებული მცირე კლასტური მარცვლები. უნდა აღინიშნოს, რომ

ქანში შეიმჩნევა გლაუკონიტის ერთეული მარცვლები, რომლებიც უწესრიგოდაა გაბნეული ალევრიტულ მასაში. იშვიათად დაიკვირვება აგრეთვე ლითოკლასტური მასალა, წარმოდგენილი სხვადასხვა სტრუქტურის მქონე ვულკანური ქანის ნამსხვრევებით. ქანის ცემენტი წარმოდგენილია ქლორიტ-კარბონატული და რკინის ჰიდროქსიდებით

გაჟღენთილი პელიტური მასალით, რომლებშიც ჩართულია ერთეული ბიოკლასტური მასალა, წარმოდგენილი მიკროორგანიზმების კარბონატული სკელეტის ნამსხვრევებით, რომლებიც ზოგჯერ შევსებულია რკინის მინერალებით. ქანის ამგებ ალევრიტულ მასალას სუსტად ეტყობა ორიენტირებულად განლაგების კვალი (სურ.3).



a



b

სურ. 3. არგილიტის (თელეთი) მიკროფოტოები, გადიდება 100 x

თიხაფიქლების და შერჩეული მაკორექტირებელი დანამატების საფუძველზე შედგენილ იქნა ექსპერიმენტული კაზმები, რომლებშიც დანამატების რაოდენობა იცვლებოდა 25, 30, 35 წ. ნაწ. ფარგლებში.

ცხრილში მოცემულია ნედლეული და მაკორექტირებელი დანამატების ქიმიური შედგენილობა.

ლაბორატორიულ პირობებში ნიმუშები დამზადდა ნახევრად მშრალი დაწნეხის მეთოდით, შემკვრელად გამოყენებულ იქნა სულფატურ-სპირტიანი ბუცი.

საკვლევი ნიმუშების თერმული დამუშავება ჩატარდა ლაბორატორიულ მუფელის ელექტროლუმელში 1100-1260°C ტემპერატურულ ინტერვალში, ცეცხლგამძლე ფორმების გამოყენების გარეშე. დაყოვნება მაქსიმალურ ტემპერატურაზე 10-15 წთ შეადგენდა.

ექსპერიმენტული ნარევის შესწავლით დადგინდა, რომ მაკორექტირებელი დანამატების შეყვანამ ზოგადად დადებითი გავლენა იქონია როგორც მასალის სტრუქტურის გაერთვარონებაზე, ისე პიროპლასტიკური მდგომარეობის

ტემპერატურის დაწევაზე. დანამატებმა ხელი შეუწყო აფუების პროცესის ინტენსიურობის დარეგულირებას, რამაც განაპირობა მოცულობაში თანაბრად განაწილებული იზოლირებული ფორების ჩამოყალიბება.

თიხაფიქლების კორექტირებისას კვარცაძულარიანი მეტასომატიტების დანამატის ოპტიმალურმა რაოდენობამ 35 წ. ნაწ. შეადგინა. აფუების ტემპერატურამ 1220-1230°C-მდე ჩამოიწია, რადროსაც მასალის სტრუქტურის გაერთვარონება დაფიქსირდა, 2 მმ დიამეტრის მქონე სფერული ფორმის ერთნაირი ფორები მოცულობაში თანაბრად განაწილდა.

მეტების თიხის და თელეთის არგილიტის ოპტიმალურმა რაოდენობამ 20-25 წ. ნაწ. შეადგინა, ტემპერატურამ კი დაიწია 1180°C-მდე, მაგრამ მიღებული ნიმუშები არათანაბარი ფორებით და არაერთვარონებით გამოირჩევა. ასევე 20-25 წ. ნაწ. აღმოჩნდა ოპტიმალური პემზის გამოყენების შემთხვევაში. ტემპერატურა 1200-1220°C-მდე შემცირდა, რადროსაც მასალის სტრუქტურის გაუმჯობესება დაფიქსირდა.

ნედლეული და მაკორექტირებელი დანამატების
ქიმიური შედგენილობა, მას.%

№	დასახელება	ბ. დ.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ + FeO	P ₂ O ₅	MnO	CaO	MgO	BaO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
1	2	4	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	თიხაფიქალი (ყვარული)	4.50	59.95	0.89	17.30	7.10	-	0.59	1.53	2.43	-	0.30	2.20	2.20
2	კვარცხანა ადულარიანი მეტასობატი (დავით გარეჯი)	0.1	78.0	0.1	9.0	1.0	0.06	0.03	-	1.64	2.76	1.05	0.16	6.0
3	თიხა (მეტეხი)	13.70	49.35	0.24	11.20	4.55	0.24	13.55	2.28	0.24	-	0.55	1.13	1.73
4	არგილიტი (თელეთი)	7.01	47.19	-	15.90	13.36	0.4	0.10	6.30	4.10	-	1.39	2.86	1.30
5	ტემზა (ახალქალაქი)	0.7	54.0	1.28	15.0	6.65	0.55	0.13	6.3	3.59	-	0.08	4.4	2.7
6	წიდა ზრმედის (რუსთავის)	5.23	25.6	0.15	8.5	15.79	0.22	0.5	31.2	4.62	-	0.75	1.13	0.15
7	წიდა (ზესტ. ვერო)	-	40.6-42.6	-	8.3-9.8	1.16-1.2	0.02-0.2	MnO+ MnO ₂ 19.7-20.4	14.4-15.6	5.6-7.2	1.31-2.1	1.65-1.97	1.0-1.7	1.4-2.0

მეტალურგიული წარმოების ნარჩენების ბრძმედის წიდის სახით გამოყენებამ, 30 წ. ნაწ. შემცველობისას, საკმაოდ დაბლა დასწია აფუების ტემპერატურული ინტერვალი (1160–1200°C). მიღებული ნიმუში მოცულობაში ძირითადად ერთგვაროვანი წვრილი ფორებით გამოირჩევა, ხოლო ნიმუშის ზედაპირი გამინებულია.

მოცემულ შემთხვევაში წიდებში რკინის და კალციუმის ოქსიდების დიდი რაოდენობით შემცველობამ, SiO₂-ის დაბალ რაოდენობასთან ერთად, ექსპერიმენტული ნარევების პიროკლასტიკურ მდგომარეობაში გადასვლის ტემპერატურის შემცირებას შეუწყო ხელი. ამასთანავე, CaO-ს მაღალი რაოდენობა, როგორც ცნობილია, იწვევს ნალღობის სწრაფად გათხევადებას ტემპერატურის ვიწრო ინტერვალში, შესაბამისად მის დეფორმაციას [5], რაც საცდელ ნიმუშზე გამოიხატა მისი ფორმის შეცვლით, ხოლო ზედაპირზე – მინის აფსკის წარმოქმნით.

ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის მანგანუმშემცველი წიდის დამატებამ მაკორექტირებელი დანამატის (25–30 წ. ნაწ.) სახით დადებითი შედეგი მოგვცა. ნიმუშები ხასიათდება თანაბარფორებიანი ერთგვაროვანი აგებულებით, საშუალო და წვრილი ზომის ფორებით და თითქმის 100°C-ით შემცირებულია აფუების ტემპერატურა (1160–1180°C).

მე-4 სურ-ზე ნაჩვენებია ყვარლის თიხაფიქლების საფუძველზე მიღებული ფორიანი თბოსაიზოლაციო მასალა, რომლის თბოგამტარობამ 0.11 ვტ/(მ·K) შეადგინა.

ამრიგად, ჩატარებული კვლევებით გამოვლინდა დანამატების დადებითი ზემოქმედება როგორც აფუების ტემპერატურის შემცირების, ისე სტრუქტურის გაუმჯობესების მხრივ. თვით დანამატის ეფექტურობის გავლენა გარკვეულ ზღვრამდე მოქმედებს: თიხაფიქლების რაოდენობის შემცირება ნარევი 50%-ზე დაბლა იწვევს აფუების ინტენსივობის მკვეთრად შემცირებას. თავის მხრივ, მაკორექტირებელი დანამატების ოპტიმალური შემცველობა გარკვეულ გავლენას ახდენს აფუების პროცესის სწორ წარმართვაზე. ძირითადი კომპონენტისთვის მათი ცვლილება ეფექტურია

შემდეგ ფარგლებში: SiO₂ – 52–68%, Al₂O₃ – 15–19%, (Fe₂O₃+FeO) – 5–9%, R₂O – 1–6%. მქავაოქსიდების შემცველობის შემცირება იწვევს თხევადი დენადი მასის წარმოქმნას, რომელსაც აფუების უნარი არ გააჩნია, ხოლო მატება – გარბილების ტემპერატურის ზრდას იწვევს.



სურ.4. თიხაფიქლების საფუძველზე მიღებული ფორიანი თბოსაიზოლაციო მასალა

3. დასკვნა

ჩატარებული კვლევების საფუძველზე დადგინდა ყვარლის თიხაფიქლების (მდინარე დურუჯის ხეობა) გამოყენებით ფორიანი თბოსაიზოლაციო მასალების მიღების შესაძლებლობა, ქაფწარმომქმნელი დანამატის გარეშე, ნედლეულის ნარევის თვითაფუების შედეგად, გამარტივებული ტექნოლოგიით, მინის წინასწარი მაღალტემპერატურული ხარშვის პროცესის გამორიცხვით.

ლიტერატურა

1. Горлов Ю.П. – Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий. «Высшая школа». М. 1989. с.384.
2. ლ. გაბუნია, ე. შაფაქიძე, გ. მაღალაშვილი, ი. გეჯაძე. მდ. დურუჯის ხეობის თიხაფიქლების შესწავლა სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგში გამოყენების მიზნით. სსიპ კავკასიის ალექსანდრე თვალჭრელიძის მინერალური ნედლეულის ინსტიტუტის შრომათა კრებული. 2009. გვ. 399-401.
3. ე. შაფაქიძე, რ. სხვიტარიძე, ი. ქამუშაძე, ლ. გაბუნია, ი. გეჯაძე. ენერგოეფექტური სამშე-

- ნებლო მასალების წარმოების პერსპექტივები საქართველოში. "სამთო ჟურნალი", N2(39). 2017. გვ. 61-66.
4. ე. შაფაკიძე, ი. ქამუშაძე, ლ. გაბუნია, ი. გეჯაძე, რ. სხვიტარიძე, თ. პეტრიაშვილი. თანამედროვე ენერგოეფექტური სამშენებლო მასალების მიღების ტექნოლოგიების შემუშავება საქართველოს თიხოვანი ქანების საფუძველზე. საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის ჟურნალი „კერამიკა და მოწინავე ტექნოლოგიები“, ტ.22. 2(44), 2020. გვ. 3-7.
5. Онацкий С.П. – Производство керамзита. Изд. Литературы по строительству. М. 1971. с. 310.

კვლევა განხორციელდა „შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური მხარდაჭერით [გრანტის №AR-18-343].

UDC 666.61

PRODUCTION OF POROUS THERMAL INSULATION MATERIALS USING LOCAL RAW MATERIALS

E. Shapakidze, L. Gabunia, I. Kamushadze, I. Gejadze, T. Petriashvili

Ivane Javakhishvili Tbilisi State University. Caucasian Alexandre Tvalchrelidze Institute of Mineral Resources. Mindeli 11. 0186 Tbilisi. Georgia

E-mail: elena.shapakidze@tsu.ge

Resume: *Goal.* Development of compositions of inorganic silicate thermal insulation materials based on local cheap raw materials.

Method. The samples were prepared by semi-dry pressing. The firing was carried out in a muffle laboratory electric furnace.

The mineral composition of clay materials was determined using an Optika B-383POL polarization microscope (Italy). Thermal conductivity was measured on an ИТП-МГ4 «100» device.

Results. New compositions of porous thermal insulation materials based on a complex of natural and man-made materials have been developed. Optimal compositions have been selected that ensure a decrease in the temperature of the pyroplastic state during sintering of mixtures; the formation of homogeneous, evenly distributed pores in space.

Conclusion. On the basis of the conducted studies, the possibility of obtaining porous thermal insulation materials by self- swelling of the raw mixture without the use of foaming agents was established.

Key words: Porous thermal insulation material; Energy efficiency; Self-swelling; Clay shale.

This work was supported by the Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia (SRNSFG) [grant №AR-18-343].

უაკ 691.42

სამშენებლო კერამიკული ნაკეთობების მიღება თიხაფიქლების საფუძველზე

ე. შაფაქიძე¹, ი. ქამუშაძე¹, ლ. გაბუნია¹, ი. გეჯაძე¹, რ. სხვიტარიძე², თ. ჭიჭიშვილი²,
თ. პეტრიაშვილი¹, მ. მაქაძე¹, ნ. გაგნიაშვილი¹

¹ ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ალექსანდრე თვალჭრელიძის სახელობის მინერალური ნედლეულის კავკასიის ინსტიტუტი. საქართველო, 0186, თბილისი, მინდელის 11

² საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველო, 0160, თბილისი, კოსტავას 69

E-mail: elena.shapakidze@tsu.ge

რეზიუმე: მიზანი. თანამედროვე სამშენებლო კერამიკული მასალების – სამშენებლო აგურის და კლინკერის აგურის მიღების ინოვაციური ტექნოლოგიების შემუშავება ყვარლის თიხაფიქლების ბაზაზე.

მეთოდი. მინერალოგიურ-პეტროგრაფიული ანალიზისთვის გამოყენებულ იქნა პოლარიზაციული მიკროსკოპი Optika B-383POL (იტალია); რენტგენოფაზური ანალიზისთვის – დიფრაქტომეტრი Дрон-4.0, НПП "Буревестник", სპილენძის ანოდით და ნიკელის ფილტრით. U (მაბვა) – 35კვ. I (დენის ძალა) – 20მა. გადაღების სიჩქარე – 2 გრად/წთ. $\lambda=1.54778 \text{ \AA}$.

სითბოგამტარობა განისაზღვრა ИТП-МГ4 «100» ხელსაწყოზე.

კერამიკული მასალების მორფოლოგია განისაზღვრა რასტრული ელექტრონული მიკროსკოპის (SEM) TESCAN VEGA-3 XMU (LaB₆ source, 30 kV accelerating voltage) გამოყენებით, რომელიც აღჭურვილია ენერგოდისპერსიული სპექტრომეტრით (EDS-Oxford Instruments) operating at 20keV.

შედეგი. შემუშავებულ იქნა ტექნოლოგიები კერამიკული მასალების (სამშენებლო და კლინკერის აგურის) მისაღებად ყვარლის თიხაფიქლების და სხვადასხვა მაკორექტირებელი დანამატით.

დასკვნა. ჩატარებული კვლევებით დადგინდა, რომ ყვარლის თიხაფიქლების საფუძველზე შესაძლებელია როგორც სამშენებლო, ისე კლინკერის აგურის წარმოება, რაც კერამიკული პრო-

დუქციის ხარისხს აუმჯობესებს მარტო მეტეხის თიხის საფუძველზე მიღებულ იგივე პროდუქციასთან შედარებით, წარმოების იგივე პარამეტრების პირობებში.

საკვანძო სიტყვები: სამშენებლო აგური; კლინკერის აგური; თიხაფიქალი.

1. შესავალი

არამადნეული სასარგებლო წიაღისეული დიდ როლს ასრულებს ნებისმიერი ქვეყნის ეკონომიკაში, რაც განაპირობებს მათი მრავალი მიმართულებით გამოყენებას, ახალი ინოვაციური ტექნოლოგიების შემუშავებას თანამედროვე სამშენებლო, მათ შორის კერამიკული მასალების მისაღებად.

საქართველოში სამშენებლო კერამიკული ნაკეთობების წარმოება შეწყდა წინა საუკუნის 90-იან წლებში – საბჭოთა კავშირის დაშლის შემდეგ. სამხრეთ კავკასიის ყველა ქვეყანაში ფუნქციონირებს სამშენებლო კერამიკული ნაკეთობების საწარმოები და მათ პროდუქციაზე მოთხოვნა გამუდმებით იზრდება. საქართველოში სამშენებლო ბაზრის იმპორტის მოცულობა ამჟამად 500,0 მლნ. \$ აღემატება. აქედან გამომდინარე, სახელმწიფო დაინტერესებულია სამშენებლო-კერამიკული ნაკეთობების წარმოების აღორძინებით.

ამჟამად საქართველოში სამშენებლო „ბუშია“, მაგრამ ბაზარზე მოთხოვნადი სამშენებლო მასალებიდან, მაგალითად სამშენებლო კერამიკული აგური, კერამიკული საკედლე ბლოკები, ქუჩა-

გზების მოსაპირკეთებელი კლინკერის აგური ან არ იწარმოება საქართველოში და შემოდის იმპორტით, ან სამშენებლო კერამიკული აგური იწარმოება არასაკმარისი რაოდენობით, იმ დროს, როცა ადგილობრივად შესაბამისი ნედლეულის საკმარისი მარაგებია, ხოლო მოსახლეობა დაუსაქმებელია და მათი შემოსავლები მიზერულ დონემდეა შემცირებული. საქართველოს ბაზარს „საქსტატის“ მონაცემებით [1], 2018 წ მიეწოდა 13,0 მლნ ცალი პირობითი კერამიკული აგური, 0,5 მლნ. ლარი ღირებულების კერამიკული ბლოკები და 0,7 მლნ. ლარი ღირებულების კლინკერის აგური. აქედან 5,0 მლნ. ცალი (38,0%) 0,5 მლნ ლარი ღირებულების კერამიკული აგური იმპორტია, ხოლო 3,2 მლნ. ლარის ღირებულების 8,0 მლნ. ცალი კი დამზადებულია საქართველოში. კერამიკული საკედლე ბლოკები და ქუჩა-გზების მოსაპირკეთებელი კლინკერის აგური საქართველოში საერთოდ არ იწარმოება – მხოლოდ იმპორტია, რაც არასასურველია და უარყოფითი შედეგები მოაქვს ქართული ეკონომიკის და, შესაბამისად, მოსახლეობისათვის.

საქართველოში კერამიკული აგურის წარმოებისთვის საჭირო მაღალხარისხოვანი თიხური ნედლეულის დეფიციტი აღინიშნება. მეტეხის, საგარეჯოს, მირიანის და სხვა საბადოების თიხები ხასიათდება CaO-ს მაღალი შემცველობით (15–18%), რაც არასასურველია, ვინაიდან აგურის ზედაპირზე თეთრი ლაქების გაჩენას განაპირობებს, ეს კი დაბლა სწევს მის ხარისხს და ყინვამდედგობას. მათგან განსხვავებით, ყვარლის თიხაფიქალი გამოირჩევა CaO-ს დაბალი შემცველობით: 1–2%-მდე.

კახეთის რეგიონში, მდინარე დურუჯის ხეობაში, ქ. ყვარლის მიმდებარე ტერიტორიაზე ინტენსიური, ეგზოგენური პროცესების შედეგად დაგროვილია 20,0 მლნ. მ³ მეტი კლდოვანი ქანების ჩამონაშალი და ყოველწლიური ნამატი დაახლოებით 500,0 ათას მ³ აღწევს. ხეობაში პერიოდულად ვითარდება დამანგრეველი ძალის ღვარცოფული პროცესები, რაც ეკოლოგიური კატასტროფით ემუქრება ადგილობრივ გარემოს და კერძოდ ქალაქ ყვარელს და მის 10 ათას

მოსახლეს, რომელნიც მაღალი რისკის ფაქტორის ზონაში იმყოფებიან.

რეგიონში ეკოლოგიური წონასწორობის აღდგენისთვის ერთ-ერთი მიმართულებაა თიხაფიქლების ნაშალი ქანების გამოყენება ეკონომიკის სხვადასხვა დარგში, რაც ეკონომიკურ სარგებელს მოუტანს ქვეყანას, ხოლო რეგიონს ეკოლოგიურ კატასტროფას აარიდებს.

წლების განმავლობაში ჩატარებული კვლევების შედეგად დადგენილია ყვარლის თიხაფიქლების გამოყენების შესაძლებლობა და მიზანშეწონილობა სამშენებლო მასალების წარმოებაში, კერძოდ როგორც ცემენტის აქტიური პუცოლანური დანამატი ბეტონის მსუბუქი ფოროვანი შემავსებლის – კერამზიტის მისაღებად და ა. შ. [2–6].

თიხაფიქლისგან კერამიკული ნაწარმის წარმოების პრაქტიკა ცნობილია, მაგრამ უცნობია ღვარცოფული პროცესების შედეგად ნატანი – ნაშალი თიხაფიქლების გამოყენება.

თიხაფიქალი ზოგადად კრისტალური ნივთიერებაა და მისგან კერამიკული ნაწარმის დასამზადებლად კარიერზე მოპოვებულ თიხაფიქალს ასაწყობებენ ღია ცის ქვეშ, რათა ატმოსფერული მოვლენების ზემოქმედების შედეგად მოხდეს მათი კრისტალური მესრის მორყევა შემდგომი გადამუშავების გასამარტივებლად [7]. ყვარლის თიხაფიქალი კი მთებიდან მდინარის მიერ ჩამოტანილი ფიქლების ნაშალია, რომელმაც უკვე გაიარა ატმოსფეროს და წყლის სტიქიის ზემოქმედება და მისი შემდგომი გადამუშავება კერამიკული ნაწარმის მისაღებად მარტივია: დამსხვრევა-დაფქვასა და გამოწვაზე დახარჯული ელექტროენერჯის და საწვავის ხარჯი ნაკლებია, ვიდრე ჩვეულებრივი თიხაფიქლის შემთხვევაში.

სამუშაოს მიზანია თანამედროვე სამშენებლო კერამიკული მასალების – სამშენებლო აგურის და კლინკერის აგურის მიღების ინოვაციური ტექნოლოგიების შემუშავება ყვარლის თიხაფიქლების გამოყენებით, რაც საქართველოში სამშენებლო კერამიკული წარმოების აღორძინებას და ეკოლოგიური პრობლემების დაძლევას შეუწყობს ხელს.

2. ძირითადი ნაწილი

ნედლეული მასალების სახით ძირითადად ყვარლის თიხაფიქალი იქნა გამოყენებული. ვინაიდან თიხაფიქალი დაბალი პლასტიკურობით ხასიათდება და მარტო მის საფუძველზე შეუძლებელია კერამიკული ნაკეთობის დაყალიბება, დანამატებად გამოიყენებოდა სხვადასხვა საბადოს თიხოვანი ქანები – მეტეხის და მირიანის თიხები, თელეთის არგილიტი, ზესტაფონის სილიკომანგანუმის წარმოების მტვერი.

კერამიკული მასალების დასამზადებლად ნედლეულის კაზმები მომზადდა ნახევრად მშრალი

მეთოდით, 10–12% წყლის დამატებით. 25x25x25 მმ ზომის ნიმუშები დაიწნება 2–3 მჰა ძალით. ოთახის ტემპერატურაზე ბუნებრივი შრობის შემდეგ ნიმუშების გამოშრობა გაგრძელდა თერმოსტატში 100°C ტემპერატურაზე. ტემპერატურის აწევა გრძელდებოდა 4–5 სთ განმავლობაში. შემდეგ ნიმუშები მოათავსეს მუფელის ელექტროლუმელში და გამოწვეს გარკვეული ტემპერატურული რეჟიმით.

ქვემოთ მოყვანილია ნედლეული კომპონენტების ქიმიური შედგენილობა (ცხრილი 1).

მე-2 ცხრილში ნაჩვენებია ნედლეულის კაზმების ნივთიერი შედგენილობა.

ცხრილი 1

ნედლეული კომპონენტების ქიმიური შედგენილობა, მას. %

დასახელება	ხ. დ.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Mn ₂ O ₃
თიხაფიქალი (ყვარელი)	4,72	61,86	17,7	7,4	0,35	1,28	0,53	0,4	0,68	0,97	-
თიხა (მეტეხი)	13,70	49,35	11,20	4,55	-	13,55	2,28	0,55	1,13	1,73	-
თიხა (მირიანი)	15,16	46,71	13,20	4,19	-	15,5	1,40	0,73	1,34	1,05	-
არგილიტი (თელეთი)	7,01	47,19	15,90	13,36	-	6,30	4,10	1,39	2,86	1,30	-
მტვერი (ზესტაფონი)	-	23,7	5,7	3,9	-	14,1	0,2	5,4	3,2	13,0	26,8

ცხრილი 2

ნედლეულის კაზმების ნივთიერი შედგენილობა

ნედლეულის კაზმი №	კომპონენტების შემცველობა, %				
	თიხაფიქალი (ყვარელი)	თიხა (მეტეხი)	თიხა (მირიანი)	არგილიტი (თელეთი)	მტვერი (ზესტაფონი)
1	90	10	-	-	-
2	90	-	10	-	-
3	90	-	-	10	-
4	90	-	-	-	10
5	-	100	-	-	-

№1-№4 ექსპერიმენტული კაზმებია. №5 კაზმი – 100% მეტეხის თიხაზე დაზადებული და მისი საკონტროლო შედგენილობა შედარების მიზნით იქნა სინთეზირებული.

კერამიკული მასალების ფიზიკურ-მექანიკური და სხვა პარამეტრები განისაზღვრა შესაბამისი სტანდარტების მოთხოვნების და სამეცნიერო წყაროების [8-14] გამოყენებით.

სინთეზირებული კერამიკული მასალების ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური და სამშენებლო-ტექნიკური პარამეტრები მოცემულია მე-3 ცხრილში.

ექსპერიმენტულად (ცხრილი 3) დადგინდა, რომ ყველა შედგენილობის სამშენებლო კერამიკული აგურის მისაღებად ოპტიმალურ ტემპერატურად შეიძლება ჩაითვალოს 950°C (1 საათით მაქსიმალურ ტემპერატურაზე დაყოვნებით); გამოწვის მთლიანმა ხანგრძლივობამ შეადგინა 4–5 სთ.

კლინკერის კერამიკული აგურისთვის გამოწვის ოპტიმალურ ტემპერატურად შეიძლება ჩაითვალოს 1100°C (12 საათით მაქსიმალურ ტემპერატურაზე დაყოვნებით); გამოწვის მთლიანი ხანგრძლივობა – 15–16 სთ.

მე-3 ცხრილის მონაცემები ადასტურებს, რომ სინთეზირებული კერამიკული მასალები, რომლებიც მიღებულია ყვარლის თიხაფიქლების საფუძველზე (კაზმები №1 – №4) – სამშენებლო (გამოწვის ტემპერატურა 950°C) და კლინკერის აგური (გამოწვის ტემპერატურა 1100°C) წყალშთანთქმის და მექანიკური სიმტკიცის მაჩვენებლებით უკეთეს შედეგს აჩვენებს, ვიდრე იგივე მასალები დაზადებული მხოლოდ მეტეხის თიხის გამოყენებით (კაზმი №5). როგორც ცნობილია, აგურის დაბალი წყალშთანთქმა მის მაღალ ყინვა-მედეგობას განაპირობებს.

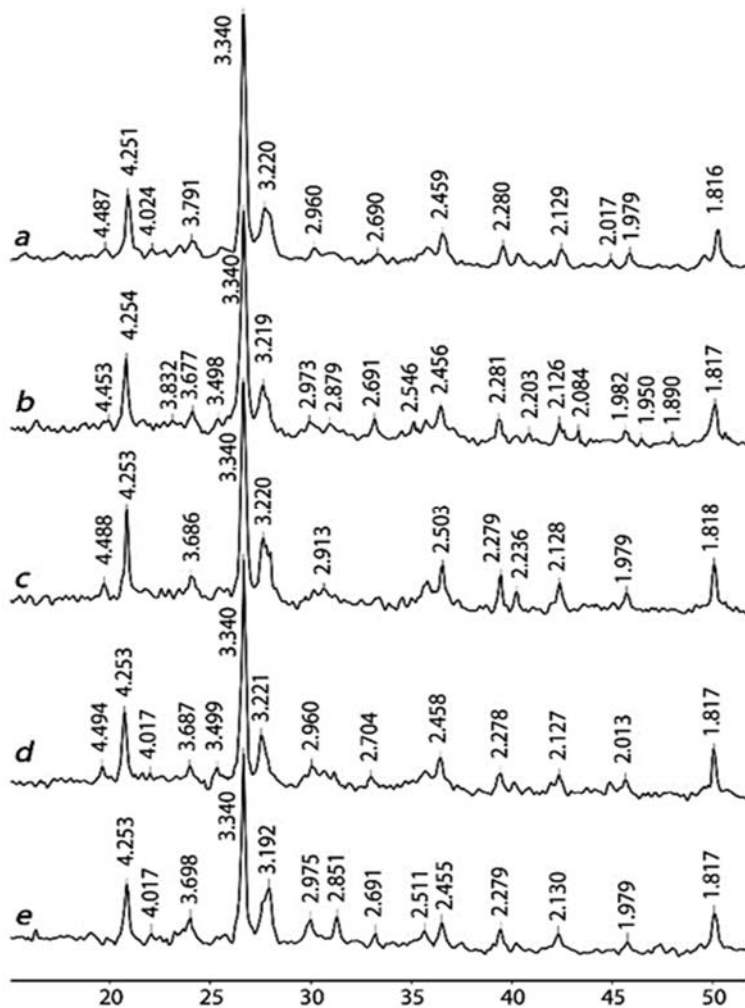
ცხრილი 3

სინთეზირებული კერამიკული მასალების ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური და სამშენებლო-ტექნიკური პარამეტრები

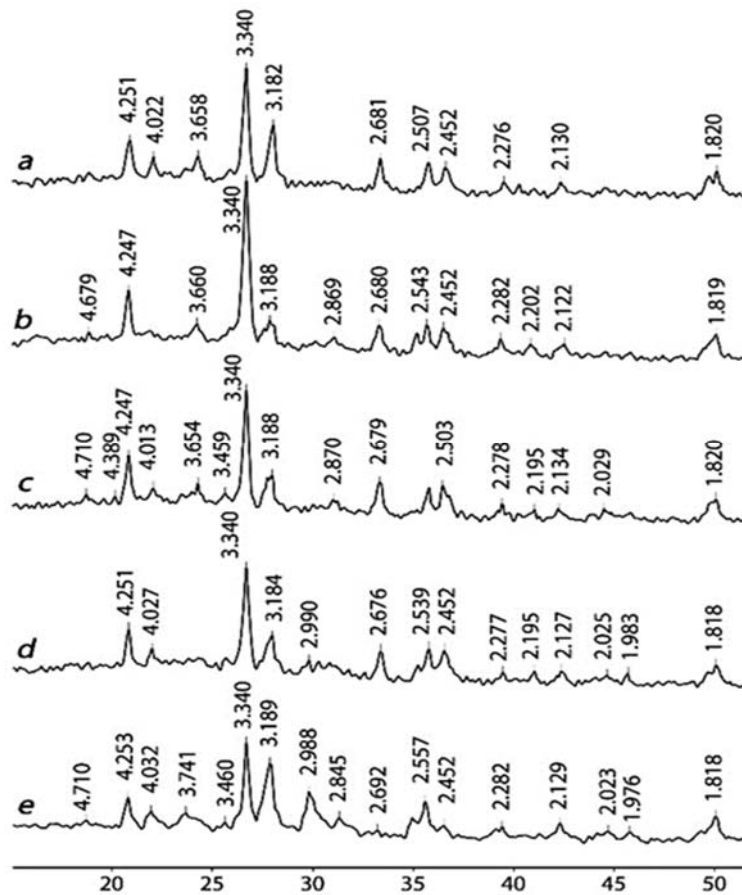
ნედლეულის კაზმი №	წყალშთანთქმა, % გამოწვის ტემპერატურაზე, °C				სიმტკიცე კუმულატივით, მპა გამოწვის ტემპერატურაზე, °C				სიმკვრივე, კგ/მ ³ გამოწვის ტემპერატურაზე, °C		ყინვა-მედეგობა, ციკლი გამოწვის ტემპერატურაზე, °C		სითბოგამტარობის კოეფიციენტი, (λ), ვტ/(მ·K) გამოწვის ტემპერატურაზე, °C	
	950	1000	1050	1100	950	1000	1050	1100	950	1100	950	1100	950	1100
1	23.50	22.70	18.40	0.29	33.7	36.6	57.8	107.3	1750	2200	25	110	0.4	0.6
2	21.78	19.30	12.19	0.18	30.4	34.5	38.9	97.7	1730	2000	25	110	0.2	0.4
3	19.93	17.41	8.09	0.11	34.4	38.5	63.5	121.7	1740	2100	25	110	0.3	0.5
4	22.42	19.26	10.74	0.19	31.7	33.8	41.2	93.9	1700	2000	25	110	0.2	0.4
5	24.10	23.49	20.15	1.78	31.2	33.9	43.5	92.7	1740	2200	25	110	0.4	0.6

ექსპერიმენტული შედეგების გასამყარებლად ჩატარდა ნედლეული კომპონენტების და კერამიკული მასალების ფიზიკურ-ქიმიური (დიფერენციალურ-თერმული, რენტგენოფაზური, მინერალოგიურ-პეტროგრაფიული და ელექტრონულ-მიკროსკოპული) კვლევები.

1-ელ სურ-ზე წარმოდგენილია 950°C-ზე სინთეზირებული სამშენებლო აგურების რენტგენოგრამები, ხოლო მე-2 სურ-ზე – 1100°C-ზე სინთეზირებული კლინკერის აგურების რენტგენოგრამები.



სურ. 1. სამშენებლო კერამიკული აგურების რენტგენოგრამები:
a-№1, b-№2, c-№3, d-№4, e-№5



სურ. 2. კლინკერის კერამიკული აგურების რენტგენოგრამები: a-№1, b-№2, c-№3, d-№4, e-№5

950°C-ზე გამომწვარი სამშენებლო კერამიკული აგურების ძირითადი მინერალებია (სურ.1): დისპერსიული რენტგენოამორფული ფაზა (ამობურცულობის სახით); კვარცი (4.25, 3.34, 2.458, 2.279, 2.128, 1.979, 1.816 Å) და კალციუმნატრიუმის მინდვრის შპატი (4.03, 3.83, 3.79, 3.219, 2.973, 2.959, 2.503 Å). კვარცის შემცველობა თიხაფიქლების შემცველ კაზმებში (№1 - №4) უფრო მაღალია, ვიდრე მხოლოდ მეტეხის თიხაზე მიღებულ კაზმში (№5), რომელიც SiO₂-ის ნაკლებ რაოდენობას შეიცავს.

1100°C-ზე გამომწვარი კლინკერის კერამიკული აგურების (სურ.2) ძირითადი მინერალებია იგივე ფაზები: დისპერსიული რენტგენოამორფული ფაზა, კალციუმნატრიუმის მინდვრის შპატი და კვარცი, იმ განსხვავებით, რომ რენტგენოამორ-

ფული ფაზის შემცველობა მატულობს, ხოლო დანარჩენი ფაზების – მცირდება.

პეტროგრაფიული ანალიზის შედეგად გამოიკვეთა, რომ 950°C-ზე გამომწვარი №1 ნიმუშის შლიფში (სურ.3) აშკარად გამოირჩევა კლასტური ფორმის პელიტომორფული ფიქლების მცირე ნატეხები, რომლებიც, ჰიდროქარსული მინერალების შემცველობის გამო, ჯვარედინი ნიკოლებით კვლევის დროს ადვილად ფიქსირდება ძირითადი მასის ფონზე. იგივე ტემპერატურაზე გამომწვარი №5 ნიმუშის შემთხვევაში (სურ. 4) ლითოკლასტურ ჩანართსა და შემაკავშირებელ თიხურ მასას შორის დაიკვირვება მიკრობზარები, რაც სავარაუდოდ გამოწვევას მასალის შეკვლების შედეგად უნდა იყოს ფორმირებული. საპირისპირო პროცესები შეინიშნება №1 ნიმუშში, რომელშიც,

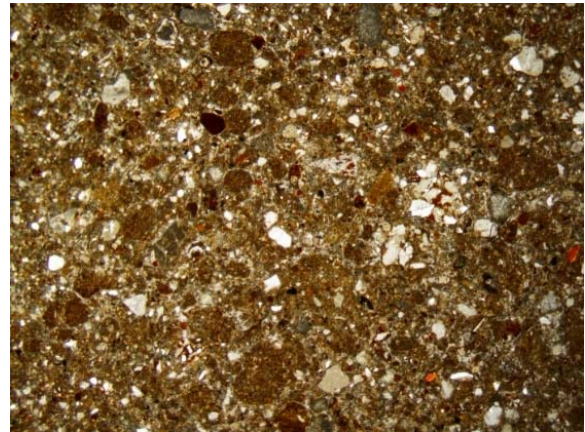
ლითოკლასტური მასალის სიმცირის და მცირე გრანულომეტრიული პარამეტრების გამო, თერმული ზემოქმედების შედეგად მასალაში მიკრობზარების გენერირება ძალზე იშვიათია.

1100°C-ზე გამომწვარი ნიმუშების შლიფებშიც დაფიქსირდა №1 ნიმუშს და №5 ნიმუშს შორის სხვაობა: №1 ნიმუშის მიკროფოტოზე (სურ.5) იდენტიფიცირდება წვრილმარცვლოვანი კლასტუ-

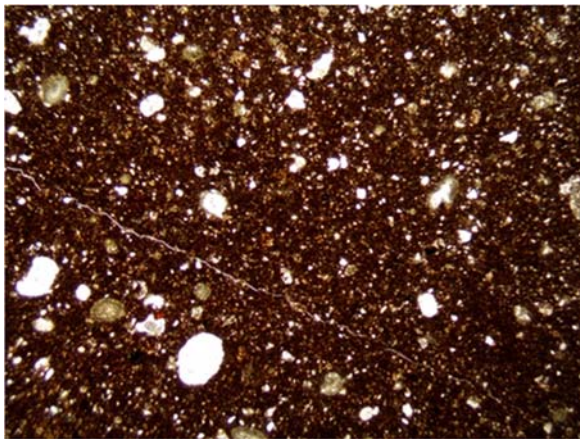
რი ჩანართები და შემაცემენტებელი ძლიერკონსოლიდირებული ოპტიკურად არააქტიური, იზოტროპული მინისებრი მასა, ხოლო №5 ნიმუშის მიკროფოტოზე (სურ.6) ჩანს ნიმუშის წვრილმარცვლოვანი კლასტური ჩანართები და დეზინტეგრირებული ოპტიკურად არააქტიური, იზოტროპული პელიტური მასა.



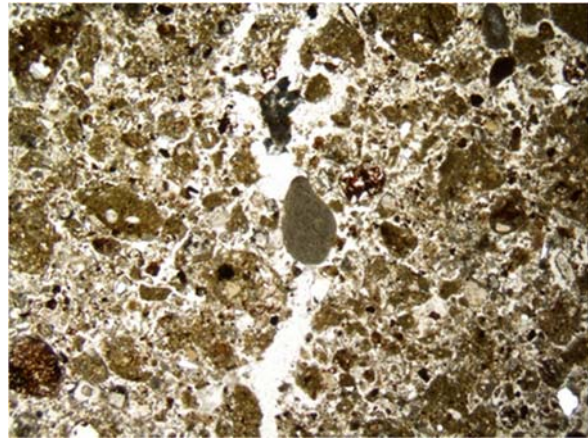
სურ. 3 - №1 ნიმუშის (950°C) მიკროფოტო



სურ. 4 - №5 ნიმუშის (950°C) მიკროფოტო



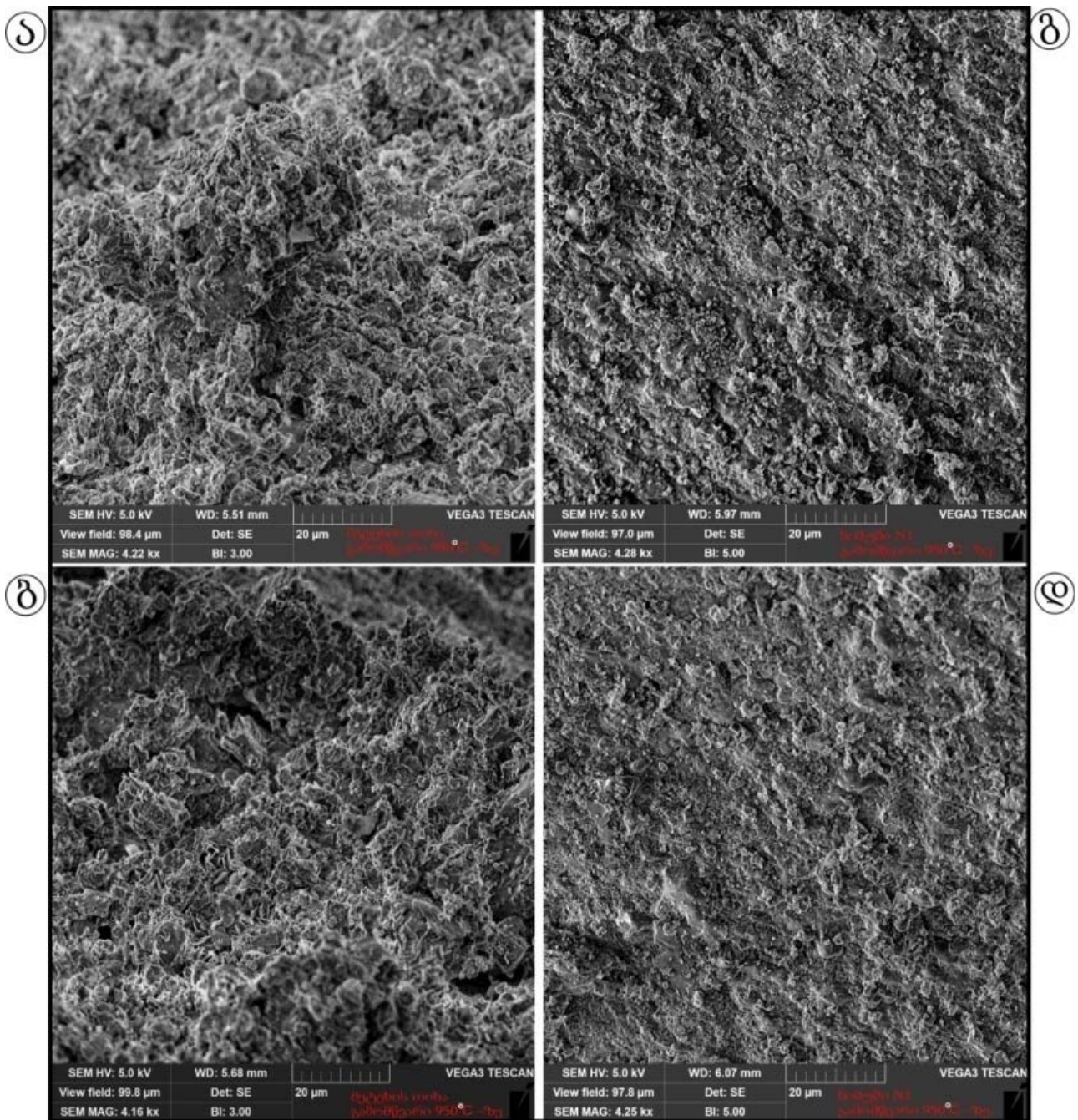
სურ. 5 - №1 ნიმუშის (1100°C) მიკროფოტო



სურ. 6 - №5 ნიმუშის (1100°C) მიკროფოტო

კერამიკული მასალების მორფოლოგიის შესწავლამ დაადგინა, რომ მეტეხის თიხაზე მიღებული მასალის ზედაპირი (გამოწვის ტემპერატურა 950°C) ხასიათდება საკმაოდ მაღალი რელიეფურობით, სადაც სიმაღლეთა სხვაობა ზოგან 20 მკმ-ს აღემატება. ამასთან, მასალა შედგება საკმაოდ მსხვილი მარცვლებისგან, რომელთა ზომა 8 მიკრომეტრსაც შეადგენს (სურ. 7,ა).

ამისგან განსხვავებით, დანარჩენი ნიმუშების ზედაპირი გაცილებით გლუვია და, მეტეხის თიხასთან შედარებით, მარცვლები ნაკლებადაა გამოკვეთილი, ისინი მცირე ზომისაა, შეცხოვის ეფექტი გამოკვეთილია და სტრუქტურის ჰომოგენიზაციის ხარისხი შედარებით მაღალია (სურ. 7, ბ-დ).



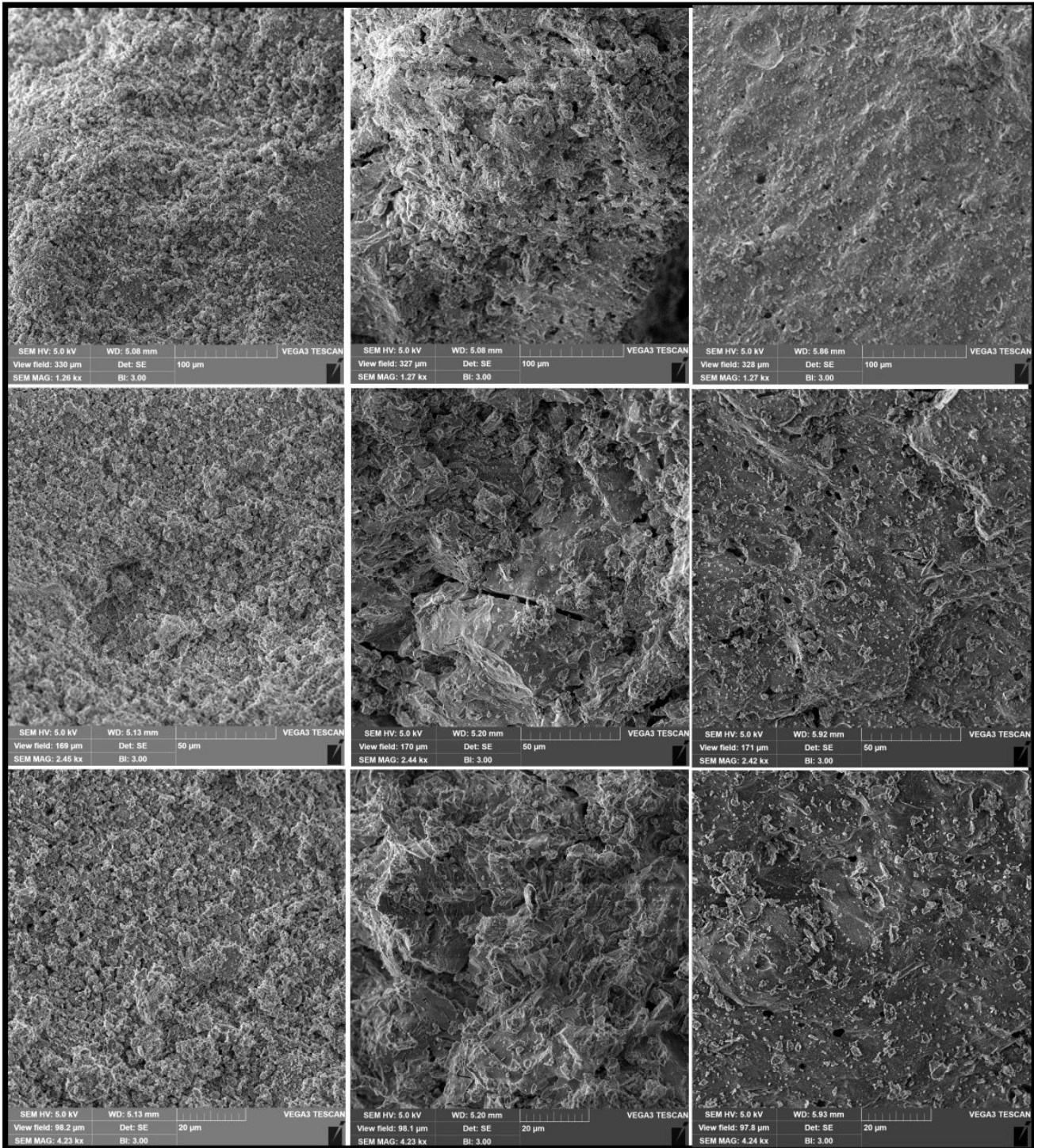
სურ. 7. სამშენებლო აგურის მიკროფოტოები: ა) 100% მეტეხის თიხაზე;
 ბ) თიხაფიქლების 90% და მეტეხის თიხის 10% დანამატით; გ) თიხაფიქლების 90% და
 მირიანი თიხის 10% დანამატით; დ) თიხაფიქლების 90% და არგილიტის 10% დანამატით

1100°C-ზე შეცხოვით გამოწვეული განსხვავებები გაცილებით კარგად ჩანს მე-8 სურ-ზე. აქ მოყვანილია სამი მასალის შედარება. ყოველი ნიმუში, გადაღებული სამ გადიდებაზე, ჩასმულია შესაბამის სვეტში. ნათლად ჩანს, რომ მეტეხის თიხა გამოწვის შემდეგ შედარებით წვრილდისპერსიულ ნაწილაკებს შეიცავს, მაშინ, როცა ორ დანარჩენ ნიმუშში ერთიან, მსხვილ, კარგად შეცხოვილ არეებს ვხედავთ.

მეტეხის თიხა
1100°C °

N15 1100°C

N9 1100°C



სურ. 8. კლინკერის აგურების მიკროფოტოები

ამრიგად, ელექტრონულ-მიკროსკოპულმა კვლევებმა დაადასტურა, რომ ყვარლის თიხაფიქლების საფუძველზე მიღებული კერამიკული მასალების როგორც სამშენებლო აგურის, ისე კლინკერის აგურის სტრუქტურა უფრო კარგად ჩამოყალიბებული და მკვრივია, ვიდრე იგივე ტემპერატურებზე მიღებული იგივე რეჟიმით - 100% მეტების თიხის გამოყენებით.

როგორც ცნობილია, მაღალი სიმკვრივე და სტრუქტურის ერთგვაროვნება განაპირობებს კერამიკული მასალების დაბალ წყალშთანთქმას, შესაბამისად მაღალ მექანიკურ სიმტკიცეს და მაღალ ყინვამედეგობას, რასაც მე-3 ცხრილის მონაცემებიც ადასტურებს.

3. დასკვნა

ჩატარებული კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ ყვარლის თიხაფიქლების საფუძველზე შესაძლებელია როგორც სამშენებლო, ისე კლინკერის აგურის წარმოება, რაც კერამიკული პროდუქციის ხარისხს აუმჯობესებს მარტო მეტების თიხის საფუძველზე მიღებულ იგივე პროდუქციასთან შედარებით, წარმოების იგივე პარამეტრების პირობებში.

შემუშავებულ იქნა კერამიკული მასალების (სამშენებლო და კლინკერის აგურის) მისაღებად ნედლეულის კაზმების რეცეპტურები ყვარლის თიხაფიქლების და სხვადასხვა მაკორექტირებელი დანამატით:

1. 90% ყვარლის თიხაფიქალი - 10% მეტების თიხა;
2. 90% ყვარლის თიხაფიქალი - 10% მირიანის თიხა;
3. 90 % ყვარლის თიხაფიქალი - 10% თელეთის არგილიტი;

4. 90% ყვარლის თიხაფიქალი - 10% ზესტაფონის ქარხნის მტვერი.

ყვარლის თიხაფიქალზე დამზადებული სამშენებლო აგურის (გამოწვის ტემპერატურა 950°C) წყალშთანთქმა: 19.93–23.50%, ხოლო მეტების თიხაზე – 24.10%.

სამშენებლო აგურის სიმტკიცე კუმშვაზე: 31.7–34.4 მპა 31.2 მპა-ის წინააღმდეგ.

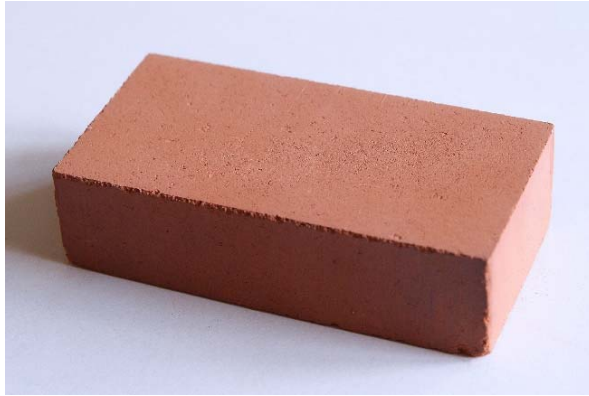
ყვარლის თიხაფიქალზე დამზადებული კლინკერის აგურის (გამოწვის ტემპერატურა 1100°C) წყალშთანთქმა: 0.11–0.29%, ხოლო მეტების თიხაზე – 1.78%.

კლინკერის აგურის სიმტკიცე კუმშვაზე: 93.9–121.7 მპა 92.7 მპა-ის წინააღმდეგ.

რენტგენოგრაფიულმა, პეტროგრაფიულმა და ელექტრონულ-მიკროსკოპულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ ყვარლის თიხაფიქლის საფუძველზე დამზადებული კერამიკული მასალები როგორც სამშენებლო, ისე კლინკერის აგური უფრო მკვრივი და ერთგვაროვანი სტრუქტურით ხასიათდება (გამოწვის ერთი და იგივე ტემპერატურაზე), ვიდრე მარტო მეტების თიხაზე დამზადებული, რასაც ამჟამად მეტების აგურის ქარხანა იყენებს.

ყვარლის შემოგარენში ათეული წლების განმავლობაში დაგროვილი ნაშალი თიხაფიქლების გამოყენება ეკონომიკის სხვადასხვა დარგში, მათ შორის სამშენებლო მასალების წარმოებაში საშუალებას მოგვცემს, რომ მიმდებარე ტერიტორია გაიწმინდოს რისკის შემცველი ალუვიური ნაღებისგან, რაც ეკოლოგიური წონასწორობის აღდგენას შეუწყობს ხელს, ხოლო შესაბამისი დარგის საწარმოები უზრუნველყოფილი იქნება სასარგებლო და ეკოლოგიურად სუფთა ნედლეულით.

ქვემოთ წარმოდგენილია ლაბორატორიულ პირობებში მიღებული სამშენებლო კერამიკული ნაკეთობები ყვარლის თიხაფიქლების ბაზაზე.



სურ. 9. სამშენებლო
აგური (950°C)



სურ. 10. კლინკერის
აგური (1100°C)



სურ. 11. კედლის მოსაპირკეთებელი
ფილა (950°C)



სურ. 12. გზების მოსაგები
ფილა (1100°C)

ლიტერატურა

1. www.geostat.ge
2. ე. შაფაქიძე, რ. სხვიტარიძე, ი. ქამუშაძე, ლ. გაბუნია, ი. გეჯაძე. ენერგოეფექტური სამშენებლო მასალების წარმოების პერსპექტივები საქართველოში. სამთო ჟურნალი, თბილისი. N2(39), 61-66, 2017.
3. E. Shpakidze, I. Gejadze, M. Nadirashvili, V. Maisuradze, T. Petriashvili, A. Skhvitardze. "Using Clay Rocks of Georgia to Obtain High-Active Pozzolanic Additives to Portland Cement". Intern. J. of Applied Engineering Research. Vol. 14, No. 18, 3689-3695, 2019.
4. Шапакидзе Е. В., Схвитаридзе Р. Е., Камушадзе И. Г., Габуния Л. В., Геджадзе И. В. Петриашвили Т. Т. Разработка режима термического модифицирования глинистых пород с целью их пуццолановой активации. Самтоу ჟურნალი. N1(43), 71-76, 2020.
5. ე. შაფაქიძე, ი. ქამუშაძე, ლ. გაბუნია, ი. გეჯაძე, რ. სხვიტარიძე, თ. პეტრიაშვილი. თანამედროვე ენერგოეფექტური სამშენებლო მასალების მიღების ტექნოლოგიების შემუშავება საქართველოს თიხოვანი ქანების საფუძველზე. საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის ჟურნალი "კერამიკა

- და მოწინავე ტექნოლოგიები". ტ.22. 2(44), 3-7, 2020.
6. R. Skhvitaridze, E. Shapakidze, M. Abazadze, T. Cheishvili, M. Turdzeladze and others. "Technological Basics of Modification of Clay Shale of the River Duruji into the Energy Efficient Porous Aggregate Claydite for Cementconcrete". Bull. Georg. Nat. Acad. Sci., Vol. 15, No. 2, 115-121, 2021.
 7. V.U. Matsapulidze, A. B. Toturbiev, V. L. Cherkashin. (2015) "Clay slates – effective mineral raw materials for production of construction materials". Vestnik Dagestanskogo texnicheskogo universiteta. J. Technicheskie nauki, Vol. 3(38). Makhachkala 219-127, 2015.
 8. Будников П. П. Ч. Бережной А. С., Булавин И. А., Каллига Г. П., Куколев Г. В., Полубояринов Д. Н. Технология керамики и огнеупоров. Госстройиздат. Москва. 707, 1972.
 9. Августинник А. И. Керамика. Стройиздат. Ленинград. 592, 1975.
 10. გოსტი 530-2012. კერამიკული აგური და ქვები. ტექნიკური პირობები.
 11. გოსტი 32311-2012. კლინკერის კერამიკული აგური გზების მოსაკირწყლავად. ტექნიკური პირობები.
 12. გოსტი 7025-91. კერამიკული აგური და ქვები. წყალშთანთქმის, სიმკვრივის და ყინვამდეგობის კონტროლი.
 13. Дудеров Г. Н. Практикум по технологии керамики и огнеупоров. Госстройиздат. Москва. 1953.
 14. Методические указания по испытанию глинистого сырья для производства обыкновенного и пустотелого кирпича, пустотелых керамических камней и дренажных труб. Москва. 1975.

კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით GENIE პროექტის გარგლებში (გრანტი CARYS-19-158)

UDC 691.42

OBTAINING BUILDING CERAMIC PRODUCTS BASED ON CLAY SHALE

E. Shapakidze¹, I. Kamushadze¹, L. Gabunia¹, I. Gejadze¹, R. Skhvitaridze², T. Cheishvili², T. Petriashvili¹, M. Makadze¹, N. Gagniashvili¹

¹ Ivane Javakhishvili Tbilisi State University. Caucasian Alexandre Tvalchrelidze Institute of Mineral Resources. Mindeli 11. 0186 Tbilisi. Georgia

² Georgian Technical University, Department of Chemical and Biological Technologies, Str Costava 69. 0160 Tbilisi. Georgia

E-mail: elena.shapakidze@tsu.ge

Resume: *Goal.* Development of innovative technologies for producing building bricks and clinker bricks based on Kvareli shale.

Method. The mineral composition of clay materials was determined using an Optika B-383POL polarization microscope (Italy).

The X-ray phase analysis were carried out using a Dron-4.0 diffractometer (“Burevestnik”, St. Petersburg, Russia) with a Cu-anode and a Ni-filter. U=35kv. I=20mA. Intensity - 2 degrees / min. $\lambda=1.54178 \text{ \AA}$.

The morphology of samples was characterized by Scanning Electron Microscope (SEM) TESCAN VEGA-3 XMU (LaB₆ source, 30 kV accelerating voltage) equipped with Energy Dispersive Spectrometer (EDS-Oxford Instruments) operating at 20keV.

Thermal conductivity was measured on an ИТП-МГ4 «100» device.

Results. The technologies for producing building bricks and clinker bricks on the basis of Kvareli shale with various corrective additives have been developed.

Conclusion. Studies have shown that the use of Kvareli shale in the production of ceramic building materials: building bricks and clinker bricks improve the quality of ceramic products under the same manufacturing conditions.

Key words: Building brick; Clinker brick; Clay shale.

This work was supported by the Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia (SRNSFG) under GENIE project [grant _ CARYS-19-158]

უაკ 666.762.93

სასმელი წყლის გაწმენდისათვის მაღალი ქიმიური მდგრადობის მანგანუმის დიოქსიდით მოდიფიცირებული ცეოლიტის მიღება და გამოცდა

ჯ. შენგელია, გ. გალოგრე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველო, 0160, თბილისი, კოსტავას 69

E-mail: jshengelia@gtu.ge

რეზიუმე: მიზანი. Mn^{2+} და რკინის იონებისაგან სასმელი წყლის გაწმენდისათვის MnO_2 -ით მოდიფიცირებული ცეოლიტის ბაზაზე დამზადებული უცხოური ფილტრების მსგავსი ეფექტიანობის ახალი მფილტრავი მასალის მიღების მეთოდის შემუშავება და გამოცდა.

მეთოდი. ცეოლიტის ზედაპირზე დაფენილი MnO_2 -ის ქიმიური მდგრადობის გაზრდის პრობლემის გადასაჭრელად გამოყენებულია MnO_2 -ის რკინის იონებით დოპირების მეთოდი. კვლევისათვის აღებულია საქართველოში ძველის საბადოს კლინოპტილოლიტის შემცველი ბუნებრივი ცეოლიტი. ცეოლიტის სტრუქტურაში იონური მიმოცვლის გზით ჩამჯდარი Mn^{2+} და Fe^{2+} იონების დასაყანგად გამოყენებულია არაპირდაპირი ელექტროქიმიური დაჟანგვის მეთოდი, ხოლო მედიატორად შერჩეულია $NaCl - NaClO$ სისტემა. MnO_2 -ის ქიმიური მდგრადობის ანუ წყალში ხსნადობის დასადგენად გამოყენებულია აშშ-ის ნაციონალური სანიტარიული ფონდისა და ნაციონალური სტანდარტის ინსტიტუტის მიერ შემუშავებული ტესტი NSF/ANSI 53-2002. გაწმენდილ წყალში Mn^{2+} და რკინის იონების კონცენტრაცია განსაზღვრულია ინდუქციურად ბმული პლაზმის ოპტიკური ემისიური სპექტრომეტრით (ICP-OES).

შედეგი. Fe^{3+} იონებით დოპირების შედეგად მცირდება ცეოლიტზე დაფენილი MnO_2 -ის ხსნადობა წყალში. ეს ეფექტი მაქსიმალურადაა გამოხატული, როდესაც ხსნარში პრეკურსორების - Fe^{2+} და Mn^{2+} იონების მოლური შეფარდება 0.077 შეადგენს. ამ პირობებში მოდიფიცირებულ ცეოლიტში MnO_2 -ისა და Fe^{3+} იონების მასური წილი შეადგენს

0,43 და 0.03%-ს, ხოლო MnO_2 -ში Fe^{3+} იონების მასური წილი – 7.0%. ურკინო MnO_2 -თან შედარებით, 7% Fe^{3+} იონების შემცველი MnO_2 -ის წყალში ხსნადობა თითქმის 94-ჯერ მცირდება. Fe^{3+} იონების შემცველი მაღალი ქიმიური მდგრადობის MnO_2 -ით მოდიფიცირებული ცეოლიტი Mn^{2+} იონებისა და რკინის იონებისაგან წყლის გაწმენდის პროცესში მაღალ ეფექტიანობას ამჟღავნებს. მისი კუთრი ტევადობა Mn^{2+} იონებისაგან წყლის გაწმენდის პროცესში 1,9-ჯერ აღემატება უცხოური მფილტრავი მასალის ანალოგიურ პარამეტრს. ასევე მაღალია მფილტრავი მასალის კუთრი ტევადობა რკინის იონებისაგან წყლის გაწმენდის პროცესში და, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, ამ დროს წყალი არ ბინძურდება Mn^{2+} იონებით.

დასკვნა. ახალი მფილტრავი მასალა Fe^{3+} იონების შემცველი გაზრდილი ქიმიური მდგრადობის MnO_2 -ით მოდიფიცირებული ცეოლიტი Mn^{2+} და რკინის იონებისაგან (Fe^{2+} და Fe^{3+}) სასმელი წყლის გაწმენდის პროცესში მაღალი ეფექტიანობით ხასიათდება.

საკვანძო სიტყვები: მოდიფიცირებული ცეოლიტი; მანგანუმის დიოქსიდი; წყლის გაწმენდა; არაპირდაპირი ელექტროქიმიური დაჟანგვა.

1. შესავალი

მანგანუმის დიოქსიდით მოდიფიცირებული ცეოლიტი ფართოდ გამოიყენება რკინის, მანგანუმის, დარიშხანის იონებისა და გოგირდწყალბადისაგან სასმელი წყლის გასაწმენდად. საერთაშორისო ბაზარზე ცნობილია მანგანუმის დიოქსი-

დით მოდიფიცირებული ცეოლიტის საფუძველზე დამზადებული საყოფაცხოვრებო მოხმარების ფილტრები – Birm და MGS (Manganese Green Sand) [1], რომელსაც აშშ-ის ფირმა Clok Corporation აწარმოებს. ფილტრების ზუსტი შედგენილობა და დამზადების ტექნოლოგია უცნობია და კომერციული საიდუმლოებაა.

სასმელი წყლის გასაწმენდად მანგანუმის დიოქსიდით მოდიფიცირებული ცეოლიტის გამოყენება განპირობებულია მანგანუმის დიოქსიდის დამჟანგავი და კატალიზურ-სორბციული თვისებებით.

MGS-ის საფუძველია გლაუკონიტი, რომელიც მიეკუთვნება ცეოლიტების კლასს. გლაუკონიტს ფარავენ მანგანუმის დიოქსიდით. გასაწმენდ წყალში არსებული Fe^{2+} და Mn^{2+} იონები MnO_2 -თან კონტაქტის პირობებში იჟანგება უხსნადი ნაერთების წარმოქმნით, რომელიც ფილტრის გრანულებზე რჩება. იგივე მექანიზმით წყალი იწმინდება H_2S -გან, რომელიც MnO_2 -თან კონტაქტისას გოგირდამდე იჟანგება. MGS-ის ჟანგვის უნარის ამოწურვის შემდეგ, მის რეგენერაციას ახდენენ $KMnO_4$ -ის განზავებული ხსნარით. გრანულებზე გამოლევილ მანგანუმისა და რკინის ნაერთებს, გოგირდს აცილებენ ფილტრის უკუგარეცხვის გზით. ფილტრის რეგენერაციის პროცესის ჩატარება აუცილებელია, ექსპლუატაციის დაწყების წინ.

MGS-საგან განსხვავებით, Birm მოქმედებს, როგორც კატალიზატორი და აჩქარებს Mn^{2+} და Fe^{2+} იონების წყალში გახსნილი ჟანგბადით დაჟანგვის პროცესს. მიღებული ნალექების მოსაცილებლად ამ შემთხვევაშიც იყენებენ უკუგარეცხვის მეთოდს. რკინის იონებისაგან წყლის გაწმენდისას pH უნდა იყოს 6.8–8.5-ის ფარგლებში, ხოლო მანგანუმის იონებისაგან გაწმენდისას - 8.0-ზე მეტი. Birm-ის გამოყენებისას მიზანშეწონილია წყლის აერაცია ჟანგბადის კონცენტრაციის გაზრდის მიზნით. Birm ხასიათდება ძალზე მაღალი მექანიკური სიმტკიცით. მისი ცვეთადობა წელიწადში 1%-ზე უფრო ნაკლებია.

სასმელი წყლის გასაწმენდად მანგანუმის დიოქსიდით მოდიფიცირებული ცეოლიტის გამოყენების ეფექტიანობა დამოკიდებულია ცეოლიტის სტრუქტურაში მტკიცედ ბმული მაღალი ქიმიური მდგრადობის MnO_2 -ის ფენის მიღების პრობლემის გადაჭრაზე. თუ MnO_2 -ის ფენა არ აკმაყოფილებს ამ მოთხოვნებს, იგი შეიძლება გახდეს არა გაწმენდის, არამედ Mn^{2+} იონებით წყლის დაბინძურების წყარო (ევროპის კავშირის საბჭოს დირექტივის მიხედვით წყალში Mn^{2+} იონების ზღვრული დასაშვები კონცენტრაცია 0.05 მგ/ლ შეადგენს [1]).

ასეთი უარყოფითი ეფექტით ხასიათდება მფილტრავი მასალა, რომელიც მიღებულია განსაზღვრულ პირობებში Mn^{2+} იონების შემცველი ცეოლიტის $KMnO_4$ -ის ხსნარით [2, 3]. რკინის იონებისაგან გასაწმენდი მოდელური წყალი, რომელიც, რკინის იონების გარდა, შეიცავდა 2.67 მგ/ლ Mn^{2+} იონებს, ფილტრში გატარების შემდეგ დაბინძურდა და Mn^{2+} იონების კონცენტრაცია 8.33 მგ/ლ-მდე გაიზარდა.

მაღალი ქიმიური და მექანიკური მდგრადობის MnO_2 -ის მიღების პრობლემის გადაჭრის თვალსაზრისით აღსანიშნავია სამუშაო [4], სადაც შემუშავებულია მაღალი კატალიზური აქტიურობისა და სიმტკიცის MnO_2 -ით ცეოლიტის მოდიფიცირების პროცესი. იგი ითვალისწინებს $Mn(NO_3)_2$ -ით თერმული დაშლით ცეოლიტზე MnO_2 -ის ფენის წარმოქმნას და მიღებული შუალედური მასალის ანოდად გამოყენებას მანგანუმის მარილების წყალხსნარების ელექტროლიზის პროცესში, რის შედეგადაც ელექტროლიზური მანგანუმის დიოქსიდით მოდიფიცირებული ცეოლიტი მიიღება. მიუხედავად იმისა, რომ მიღებული მასალა წარმატებით იქნა გამოყენებული რკინის (II) და მანგანუმის (II) იონებისაგან წყლის გაწმენდის პროცესში, მეთოდის პრაქტიკულ გამოყენებას ხელი შეუშალა ტექნოლოგიის სირთულემ და მაღალმა ენერგეტიკულმა დანახარჯებმა.

ცეოლიტის ზედაპირზე მაღალი ქიმიური მდგრადობის MnO_2 -ის ფენის მიღების მეთოდი შემუშავებულია შესაბამის ლიტერატურაში [3,5]. მეთოდი ითვალისწინებს ცეოლიტში Mn^{2+} იონების შეყვანას განსაზღვრული მასური წილით (0.09-

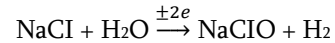
0.13%) და KMnO_4 -ით დაჟანგვის პროცესის ჩატარებას ტუტე ლითონის მარილის (მაგ., NaCl) თანობისას. ამ მეთოდით მიღებული მასალა ხასიათდება Mn^{2+} იონებისაგან წყლის გაწმენდის დამაკმაყოფილებელი ეფექტიანობით.

შესაბამისი ლიტერატურიდან [3,5] გამომდინარე, ცეოლიტში ჩამჯდარი Mn^{2+} იონების KMnO_4 -ით დაჟანგვის პროცესში მიზანშეწონილია დამჟანგავ ხსნარში 1-2% NaCl -ის არსებობა, რაც უზრუნველყოფს ცეოლიტთან მხოლოდ ქემოსორბციული ძალებით დაკავშირებული მაღალი ქიმიური და მექანიკური მდგრადობის მქონე MnO_2 -ის ფენის წარმოქმნას. ამავე დროს, ცეოლიტის მიმოცვლით კომპლექსში მცირდება დაუჟანგავი Mn^{2+} იონების რაოდენობა, რაც Mn^{2+} იონებით წყლის დაბინძურების აღბათობას ამცირებს.

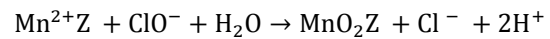
წყლის გაწმენდის პროცესში მფილტრავი მასალის ეფექტიანობის დასახასიათებლად მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ ისეთი პარამეტრი, როგორცაა მფილტრავი მასალის კუთრი ტევადობა, რომელიც გვიჩვენებს ცეოლიტის ზედაპირზე დაფენილი MnO_2 -ის ერთეული მასის (MnO_2 ცეოლიტი) მიერ ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციამდე გაწმენდილი სასმელი წყლიდან ამოღებული Mn^{2+} იონების მასას ($\text{Mn}^{2+}_{\text{წყ}}$). [3,5] ლიტერატურაში მოცემული ხერხიდან მიღებული MnO_2 მოდიფიცირებული ცეოლიტის შემთხვევაში ეს პარამეტრი ანუ შეფარდება იქნება:

$$\frac{\text{Mn}^{2+}(\text{წყ})}{\text{MnO}_2(\text{ცეოლიტი})} = 0,169.$$

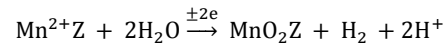
ცნობილია მანგანუმის დიოქსიდით მოდიფიცირებული ცეოლიტის მიღების ხერხი [6], სადაც ცეოლიტის კარკასში ჩამჯდარი Mn^{2+} იონების დასაჟანგად გამოყენებულია არაპირდაპირი ელექტროქიმიური დაჟანგვის მეთოდი, ხოლო მედიატორად შერჩეულია NaCl-NaClO სისტემა. ხერხი ითვალისწინებს ცეოლიტის დამუშავებას Mn(II) მარილის წყალხსნარით და დაჟანგვის პროცესის ჩატარებას ელექტროლიზერში, სადაც 25–50 გ/ლ NaCl -ის წყალხსნარის ელექტროლიზით მიიღება დამჟანგავი NaClO , რომლის კონცენტრაცია 4–6 გ/ლ შეადგენს. ელექტროლიზის ჯამური განტოლებაა:



ელექტროლიზის შედეგად მიღებული NaClO ჟანგავს ცეოლიტის ჩონჩხში ჩამჯდარ პრეკურსორ Mn^{2+} იონებს, რის შედეგადაც მიიღება მიზნობრივი პროდუქტი – MnO_2 -ით მოდიფიცირებული ცეოლიტი (MnO_2Z) და რეგენირდება მედიატორის აღდგენილი ფორმა NaCl . ეს პროცესი შეიძლება შემდეგი განტოლებით გამოისახოს:



ამრიგად, არაპირდაპირი ელექტროქიმიური დაჟანგვის მეთოდით მფილტრავი მასალის MnO_2 -ით მოდიფიცირების პროცესის ჯამური განტოლება შემდეგნაირად გამოისახება:



შემოთავაზებული ხერხის [6] თანახმად, NaCl ორი დანიშნულებით გამოიყენება: მისი წყალხსნარის ელექტროლიზით მიიღება დამჟანგავი NaClO და, ამავე დროს, მიიღწევა [3,5] ხერხში აღწერილი ეფექტი – Na^+ იონები ხელს უწყობს ცეოლიტზე ქიმიურად ბმული MnO_2 -ის ფენის წარმოქმნას. [6] ხერხის გამოყენებით მნიშვნელოვნად იაფდება დამჟანგავი, რაც განპირობებულია იმით, რომ ცეოლიტის სტრუქტურაში ჩამჯდარი Mn^{2+} იონების დაჟანგვის პროცესში NaClO აღდგება NaCl -მდე და, ამრიგად, მიმდინარეობს დამჟანგავის ელექტროლიზით მიღებისათვის საჭირო ნედლეულის მუდმივი რეგენერაცია.

[6] ხერხით მიღებული MnO_2 -ით მოდიფიცირებული 70 სმ³ (58,1გ) ცეოლიტით, რომელშიც MnO_2 -ის მასური წილი 0,44%-ია, ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციამდე გაიწმინდა 3,1 მგ/ლ Mn^{2+} იონებით დაბინძურებული 16,1 ლ სასმელი წყალი. ამრიგად, მფილტრავი მასალის კუთრი ტევადობა

$$\frac{\text{Mn}^{2+}(\text{წყ})}{\text{MnO}_2(\text{ცეოლიტი})} = 0,194.$$

MnO_2 -ის ქიმიური მდგრადობის გაზრდის ანუ წყალში მისი ხსნადობის შემცირების თვალსაზრისით საინტერესოა სამუშაო [7], რომელშიც დამუშავებულია Fe^{3+} იონებით დოპირებული MnO_2 -ის ნანობოჭკოს მიღების მეთოდი. MnO_2 -ის წყალში ხსნადობის დასადგენად გამოყენებულია

აშშ-ის ნაციონალური სანიტარიული ფონდისა და ნაციონალური სტანდარტის ინსტიტუტის მიერ შემუშავებული ტესტი NSF/ANSI 53-2002 [8].

[7] სამუშაოში მიღებული შედეგები მიუთითებს რკინის იონებით დოპირებული MnO_2 -ის ნანობოჭკოს ხსნადობის შემცირების მკვეთრად გამოხატულ ეფექტზე (ცხრ. 1).

ცხრილი 1

MnO_2 -ის ნანობოჭკოს ხსნადობის კვლევის შედეგები [7]

ნიმუშები	ხსნარში პრეკურსორების Fe (III) /Mn (II)-ის მოლური შეფარდება	წყალში Mn^{2+} -ის იონების კონცენტრაცია, მკგ/ლ	წყალში რკინის იონების კონცენტრაცია, მკგ/ლ
A	0	8454	–
B	0.04	4	განსაზღვრა
C	0.08	10	
D	0.16	43	
E	0.33	108	შეუძლებელია

დადგინდა, რომ MnO_2 -ის ნანობოჭკოს წყალში ხსნადობა 8,454 მგ/ლ-ია, ხოლო Fe(III)-ის შემცველი MnO_2 -ის ნანობოჭკოს (ნიმუში B) – 0,004 მგ/ლ. ამრიგად, Fe(III)-ის შეყვანით MnO_2 -ის ნანობოჭკოს ხსნადობა წყალში თითქმის 2000-ჯერ შემცირდა. ეს ეფექტი მაშინ მიიღება, როდესაც ხსნარში პრეკურსორების Fe (III) /Mn (II)-ის მოლური შეფარდება 0.04 შეადგენს. შეფარდების შემდგომი ზრდით MnO_2 -ის ნანობოჭკოს ხსნადობა წყალში მატულობს.

2014 – 2016 წლებში საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში შესრულდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის საგრანტო პროექტი „არაპირდაპირი ელექტროქიმიური აღდგენისა და დაჟანგვის მეთოდით ცეოლიტების მოდიფიცირების ტექნოლოგიის დამუშავება“ (საგრანტო ხელშეკრულება N AR/166/3-200/13) [9]). პროექტის მიზანი იყო ბაქტერიებისა და მავნე მინერალური მინარევებისაგან სასმელი წყლის გაწმენდისთვის, არაპირდაპირი ელექტროქიმიური აღდგენისა და დაჟანგვის მეთოდის გამოყენებით, ლითონური ვერცხლითა და მანგანუმის დიოქსიდით მოდიფიცირებული

მფილტრავი მასალების მიღების ტექნოლოგიის დამუშავება და გამოცდა.

პროექტის შესრულების საწყის სტადიაზე მფილტრავი მასალის მყარ სარჩულად ანუ მატრიცად გათვალისწინებული იყო ბუნებრივი ცეოლიტის – კლინოპტილოლიტის გამოყენება. ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარებისას გამოიკვეთა პრობლემა, რომელიც თავს იჩენს წყლის გაწმენდის ტექნოლოგიებში ცეოლიტის გამოყენებისას. დაბალი მექანიკური სიმტკიცის გამო, რაც გამოიხატება დაქუცმაცებადობისა და ცვეთადობის შედარებით მაღალი მნიშვნელობებით, წყლის ფილტრაციის პროცესში ცეოლიტის მარცვლები იშლება. ეს იწვევს ფილტრის აქტიური კომპონენტების – ლითონური ვერცხლის და მანგანუმის დიოქსიდის ფენის დაზიანებასა და ჩამოშლას, რის გამოც მკვეთრად მცირდება ფილტრის ექსპლუატაციის ვადა, იზრდება აქტიური კომპონენტების არამიზნობრივი ხარჯი, იქმნება ვერცხლითა და მანგანუმით წყლის დაბინძურების საშიშროება.

პროექტის შესრულებისას ჩამოყალიბდა და განხორციელდა, ბუნებრივი ცეოლიტის ნაცვლად, მყარ სარჩულად ახალი ტიპის მატრიცის – ცეოლიტიანი ფოროვანი კერამიკული მასალის გამო-

ყენებისა და დამზადების იდეა [10]. ცეოლიტიან ფოროვან კერამიკაში შენარჩუნებულია ცეოლიტის იონმიმოცვლითი უნარი და შერწყმულია კერამიკისათვის დამახასიათებელ სიმტკიცესთან, რაც ქმნის აქტიური ნივთიერებებით მოდიფიცირებული მაღალი ქიმიური და მექანიკური მდგრადობის მფილტრავი მასალის მიღების შესაძლებლობას. მყარი სარჩულის – ცეოლიტიანი ფოროვანი კერამიკული მასალის მანგანუმის დიოქსიდით მოდიფიცირება ჩატარდა მყარ სარჩულში ჩამჯდარი Mn^{2+} იონების არაპირდაპირი ელექტროქიმიური დაჟანგვის მეთოდით, სადაც მედიატორად გამოყენებულია $NaCl-NaClO$ სისტემა [6]. პროექტის შესრულების შედეგად დადგინდა ინოვაციური ტექნოლოგიით მიღებული მფილტრავი მასალის – მანგანუმის დიოქსიდით მოდიფიცირებული ცეოლიტიანი ფოროვანი კერამიკული ფილტრის Mn^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} და As^{3+} იონებისაგან სასმელი წყლის გაწმენდის პროცესში ეფექტიანი გამოყენების შესაძლებლობა.

მოცემული სამუშაოს მიზანია ცეოლიტის მატრიცაზე დამზადებული უცხოური ფილტრების (Birm და MGS) მსგავსი ეფექტიანობის მფილტრავი მასალის მიღების მეთოდის შემუშავება. ცეოლიტის ზედაპირზე მაღალი ქიმიური მდგრადობის MnO_2 -ის ფენის მიღების პრობლემის გადაჭრისათვის გამოკვლეულ იქნა ცეოლიტის კარკასში ჩანერგილი Mn^{2+} იონების არაპირდაპირი ელექტროქიმიური დაჟანგვის პროცესში MnO_2 -ის რკინის იონებით დოპირების შესაძლებლობა.

2. ძირითადი ნაწილი

2.1. ექსპერიმენტის მეთოდი

კვლევისათვის აღებულია საქართველოში ძეგვის საბადოს კლინოპტილოლიტის შემცველი ბუნებრივი ცეოლიტი, რომელიც შეიცავს, %: SiO_2 - 62,7; Al_2O_3 - 13,9; Fe_2O_3 - 1,6; CaO - 4,8; MgO - 1,2;

Na_2O -3,2; K_2O - 2,5. ფრაქცია - 4,5 + 3,25; 60 გ ცეოლიტი სტატიკურ პირობებში დამუშავდა 90 მლ ხსნარით. ხსნარების შედგენილობა მოცემულია ცხრილში (2). დამუშავების ხანგრძლივობა – 5სთ, ტემპერატურა – 20-25°C. ასეთ პირობებში დამუშავების შედეგად მიიღება Mn^{2+} და Fe^{2+} კატიონებით მოდიფიცირებული ცეოლიტი, რომელიც 4-ჯერადად ირეცხება 100 მლ გამოხდილი წყლით და დაჟანგვის რეაქტორს მიეწოდება. ამავე რეაქტორს ელექტროლიზურიდან მიეწოდება 5,4 გ/ლ $NaClO$ -ს ხსნარი, რომელიც $NaCl$ -ის წყალხსნარის ელექტროლიზით მიიღება. დაჟანგვის რეაქტორიდან გამომავალი ხსნარი კვლავ ელექტროლიზურში ბრუნდება.

ელექტროლიზის პირობები: $NaCl$ -ის საწყისი კონცენტრაცია – 50 გ/ლ; ელექტროლიტის მოცულობა – 400 მლ; ანოდი – ტიტანის საფუძველზე დაფენილი ტიტანისა და რუთენიუმის ოქსიდი (ORTA); კათოდი – გრაფიტი; დენის ძალა – 4ა; ანოდური დენის სიმკვრივე – 1250 ა/მ²; ტემპერატურა – 30-40°C. კატიონებით მოდიფიცირებული ცეოლიტის $NaClO$ -ის ხსნარით დაჟანგვის შედეგად მიღებული MnO_2 -ით მოდიფიცირებული ცეოლიტი 3-ჯერადად გაირეცხა 100 მლ დეიონიზებული წყლით და 40-50°C გაშრა.

MnO_2 -ის წყალში ხსნადობის კვლევისათვის გამოყენებულია აშშ-ის ნაციონალური სანიტარიული ფონდისა და ნაციონალური სტანდარტის ინსტიტუტის მიერ NSF/ANSI 53-2002 [8] შემუშავებულ ტესტთან ადაპტირებული მეთოდი. გამყოფ ძაბრში მოდიფიცირებული 410 გ ცეოლიტს დაემატა 450 მლ დეიონიზებული წყალი. 24-საათიანი დაყოვნების შემდეგ სუსპენზია გაიფილტრა 0,2 მკმ მინის ფილტრზე და ფილტრატში ინდუქციურად ბმული პლაზმის ოპტიკური ემისიური სპექტრომეტრით (ICP-OES) განისაზღვრა Mn^{2+} იონების კონცენტრაცია.

**ცეოლიტის იონური მიმოცვლის პროცესში გამოყენებული
ხსნარების შედგენილობა**

ხსნარების დასახელება	ხსნარების შედგენილობა	ხსნარში პრეკურსორების Fe ²⁺ /Mn ²⁺ -ის მოლური შეფარდება
A	0,097 მოლი/ლ MnSO ₄	–
B	0,097 მოლი/ლ MnSO ₄ 0.0038 მოლი/ FeSO ₄	0.039
C	0,097 მოლი/ლ MnSO ₄ 0.0075 მოლი/ლ FeSO ₄	0.077
D	0,097 მოლი/ლ MnSO ₄ 0.0113 მოლი/ლ FeSO ₄	0.116
E	0,097 მოლი/ლ MnSO ₄ 0.0150 მოლი/ლ FeSO ₄	0.155
F	0,097 მოლი/ლ MnSO ₄ 0.0188 მოლი/ლ FeSO ₄	0.193

მოდულირებულ ცეოლიტში MnO₂ - ისა და Fe³⁺ იონების მასური წილი განისაზღვრა [3,5] სამუშაოებში აღწერილი მეთოდით; იონმიმოცვლითი პროცესების რაოდენობრივი აღწერისათვის Mn²⁺ და Fe²⁺ იონების კონცენტრაცია – შესაბამისად, პოტენციომეტრიული და პერმანგანომეტრიული მეთოდებით; გაწმენდილ წყალში Mn²⁺ და რკინის იონების (Fe²⁺ და Fe³⁺) კონცენტრაცია კი – ინდუქციურად ბმული პლაზმის ოპტიკური ემისიური სპექტრომეტრით (ICP-OES).

2.2. ექსპერიმენტის შედეგები

ცეოლიტის სხვადასხვა შედგენილობის ხსნარებით დამუშავებისა და ცეოლიტის კარკასში ჩანერგილი Mn²⁺ და Fe²⁺ იონების არაპირდაპირი ელექტროქიმიური დაჟანგვის მეთოდით მიღებული მოდიფიცირებული ცეოლიტის ნიმუშებში MnO₂-ის მასური წილი 0,42 – 0.43% შეადგენს, ხოლო Fe³⁺ იონების მასური წილი ცეოლიტსა და MnO₂-ში იცვლება ხსნარში Fe²⁺ იონების კონცენტრაციის ზრდის მიხედვით (ცხრ. 3).

**მოდულირებული ცეოლიტის შედგენილობა და
MnO₂-ის წყალში ხსნადობა**

ნიმუშები	ხსნარში Fe ²⁺ / Mn ²⁺ მოლური შეფარდება	ცეოლიტში MnO ₂ -ის მასური წილი, %	ცეოლიტში Fe ³⁺ იონების მასური წილი, %	MnO ₂ -ში Fe ³⁺ იონების მასური წილი, %	MnO ₂ -ის ხსნადობის ტესტი. Mn ²⁺ იონების კონცენტრაცია წყალში, მგ/ლ
A	0	0.42	0	0	1.87
B	0.039	0.42	0.02	4.8	0.05
C	0.077	0.43	0.03	7.0	0.02
D	0.116	0.44	0.05	11.4	0.05
E	0.155	0.43	0.08	18.6	0.18
F	0.193	0.44	0.09	20.5	0.25

ხსნადობის ტესტით კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ Fe^{3+} იონებით დოპირების შედეგად ცეოლიტის ზედაპირზე დაფენილი MnO_2 -ის წყალში ხსნადობა მცირდება (ცხრ. 3). ამასთან, ხსნადობის მინიმუმი მიიღება ნიმუშში C, რომელიც შეიცავს 0.43% MnO_2 -სა და 0.03% Fe^{3+} იონებს, ხოლო MnO_2 -ში Fe^{3+} იონების მასური წილი 7%-ს შეადგენს. ასეთი მფილტრავი მასალის აქტიური კომპონენტის Fe^{3+} იონებით დოპირებული MnO_2 -ის ხსნადობა წყალში, არადოპირებულ MnO_2 -თან (ნიმუში A) შედარებით, თითქმის 94-ჯერ ნაკლებია. Fe^{3+} იონების მასური წილის შემდგომი გაზრდით MnO_2 -ის ხსნადობა წყალში იზრდება.

Fe^{3+} იონების შემცველი MnO_2 -ით მოდიფიცირებული ცეოლიტი (ნიმუში C) გამოიყენა დინამიკურ პირობებში Mn^{2+} და რკინის იონებისაგან (Fe^{2+} და Fe^{3+}) სასმელი წყლის გაწმენდის პროცესში. 58,3 გ ცეოლიტი (დაახლოებით 70 სმ³) მოთავსდა სვეტში, რომლის დიამეტრი 12 მმ-ია, ხოლო სიმაღლე – 620 მმ, სასმელი წყლის სიხისტე – 2,9 მგ.ეკვ/ლ, pH-6,7, წყლის ფილტრაციის საშუალო მოცულობითი სიჩქარე – 0,51 ლ/სთ, საშუალო

ხაზოვანი სიჩქარე – 4,3 მ/სთ. მოდელური გასაწმენდი წყლის ნიმუშები მომზადდა, შესაბამისად, $MnSO_4$ -ისა და $FeSO_4$ ხსნარების საფუძველზე. გასაწმენდ სასმელ წყალში Mn^{2+} და Fe^{2+} იონების საწყისი კონცენტრაცია, შესაბამისად, 3,1 და 8.5 მგ/ლ შეადგენდა. ევროპის კავშირის საბჭოს დირექტივის მიხედვით სასმელ წყალში რკინის იონების ჯამური ზღვრული დასაშვები კონცენტრაცია 0.20 მგ/ლ-ია, ხოლო ჯანმრთელობის დაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის დირექტივის მიხედვით – 0.30 მგ/ლ [1]. როგორც Mn^{2+} იონების შემთხვევაში, რკინის იონებისაგან წყლის გაწმენდის პროცესის კვლევისას, ვიხელმძღვანელებთ ევროპის კავშირის საბჭოს დირექტივით. ამავე დროს, გაწმენდილ წყალში რკინის იონების პარალელურად განისაზღვრა Mn^{2+} იონების კონცენტრაცია. ასეთი მონიტორინგის აუცილებლობა ნაკარნახევა იმ გარემოებით, რომ რკინის იონებისაგან წყლის გაწმენდის პროცესში MnO_2 -ით მოდიფიცირებული ცეოლიტიანი ფილტრების გამოყენებისას არსებობს Mn^{2+} იონებით წყლის დაბინძურების საშიშროება. ცდის შედეგები მოცემულია მე-5 და მე-6 ცხრილებში.

ცხრილი 5

Fe^{3+} იონების შემცველი MnO_2 -ით მოდიფიცირებული ცეოლიტით Mn^{2+} იონებისაგან წყლის გაწმენდის პროცესის კვლევის შედეგები

მოდელურ გასაწმენდ წყალში Mn^{2+} იონების საწყისი კონცენტრაცია 3,1 მგ/ლ. ცდის პირობები იხილეთ ტექსტში.

№	ფილტრაციის ხანგრძლივობა, სთ	გატარებული წყლის მოცულობა, ლ	Mn^{2+} იონების კონცენტრაცია წყალში, მგ/ლ
1.	0,5	0,25	არ განისაზღვრა
2.	6,0	3,1	არ განისაზღვრა
3.	9,0	4,8	არ განისაზღვრა
4.	22,0	10,9	არ განისაზღვრა
5.	26,0	12,9	არ განისაზღვრა
6.	30,0	15,8	არ განისაზღვრა
7.	40,2	20,5	0,03
8.	51,0	25,3	0,05
9.	55,2	28,1	0,09
10.	60,1	30,5	0,15
11.	64,9	32,8	0,27
12.	69,1	35,6	0,42

დადგინდა, რომ შემოთავაზებული ხერხით მიღებული Fe³⁺ იონების შემცველი MnO₂-ით მოდიფიცირებული 70 სმ³ (58,3გ) ცეოლიტით, რომელშიც MnO₂-ისა და Fe³⁺ იონების მასური წილი 0,43 და 0.03%-ს შეადგენს, ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციამდე (≤0,05 მგ/ლ) გაიწმინდა 3,1 მგ/ლ

Mn²⁺ იონებით დაბინძურებული 25,3 ლ სასმელი წყალი. ამრიგად, ახალი მფილტრავი მასალის კუთრი ტევადობა $\frac{Mn^{2+}(წყ.)}{MnO_2 \text{ (ცეოლიტი)}} = 0,312$, რაც 1,85-ჯერ აღემატება [3,5] ხერხით მიღებულ მფილტრავი მასალის ანალოგიურ პარამეტრს.

ცხრილი 6

Fe³⁺ იონების შემცველი MnO₂-ით მოდიფიცირებული ცეოლიტით რკინის იონებისაგან სასმელი წყლის გაწმენდის პროცესის კვლევის შედეგები

რკინის იონების ჯამური საწყისი კონცენტრაცია გასაწმენდ მოდელურ წყალში 8.5 მგ/ლ. ცდის პირობები იხილეთ ტექსტში.

	ფილტრაციის ხანგრძლივობა, სთ	გატარებული წყლის მოცულობა, ლ	რკინის იონების კონცენტრაცია წყალში, მგ/ლ	Mn ²⁺ იონების კონცენტრაცია წყალში, მგ/ლ
1	0.6	0.31	არ აღმოჩნდა	არ განისაზღვრა
2	5.9	3.0	არ აღმოჩნდა	არ განისაზღვრა
3	9.2	4.7	0.03	არ განისაზღვრა
4	22.3	11.4	0.03	არ განისაზღვრა
5	26.9	13.7	0.04	არ განისაზღვრა
6	32.0	16.3	0.03	არ განისაზღვრა
7	41.2	21.1	0.05	არ განისაზღვრა
8	51.0	26.0	0.10	არ განისაზღვრა
9	55.9	28.5	0.14	არ განისაზღვრა
10	60.8	31.0	0.18	არ განისაზღვრა
11	64.9	33.1	0.20	არ განისაზღვრა
12	69.7	35.6	0.21	არ განისაზღვრა
13	74.9	38.2	0.29	0.02
14	75.9	38.7	0.35	0.02
15	77.9	39.7	0.69	0.02

მე-6 ცხრილის მონაცემებით, შემოთავაზებული ხერხით მიღებული Fe³⁺ იონების შემცველი MnO₂-ით მოდიფიცირებული 70 სმ³ (58,3 გ) ცეოლიტით, რომელშიც MnO₂-ისა და Fe³⁺ იონების მასური წილი

0,43 და 0.03%-ს შეადგენს, ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციამდე (≤0,20 მგ/ლ) გაიწმინდა 8.5მგ/ლ რკინის იონებით დაბინძურებული 33.1ლ სასმელი წყალი. ამრიგად, მფილტრავი მასალის კუთრი

ტევადობა რკინის იონებისაგან წყლის გაწმენდის პროცესში

$$\frac{Fe^{2+} (\text{წყ})}{MnO_2 (\text{ცეოლიტი})} = 1.121.$$

Fe³⁺ იონების შემცველი MnO₂-ით მოდიფიცირებული ცეოლიტი რკინის იონებისაგან წყლის გაწმენდის პროცესში ამჟღავნებს მაღალ კუთრ ტევადობას და, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, ხასიათდება მაღალი ქიმიური მდგრადობით – გაწმენდის პროცესში წყალი არ ბინძურდება Mn²⁺ იონებით.

2.3. შედეგების განსჯა

მიღებული ექსპერიმენტული შედეგები მიუთითებს Mn²⁺ და რკინის იონებისაგან (Fe²⁺ და Fe³⁺) წყლის გაწმენდის პროცესში ახალი მფილტრავი მასალის გამოყენების მაღალ ეფექტიანობაზე, რაც განპირობებულია ფილტრის აქტიური კომპონენტის – რკინის იონებით დოპირებული MnO₂-ის მაღალი ქიმიური მდგრადობით. Fe³⁺ იონების შემცველი გაზრდილი ქიმიური მდგრადობის MnO₂-ით მოდიფიცირებული ცეოლიტი Mn²⁺ იონებისგან წმენდს უფრო მეტი მოცულობის სასმელ წყალს, ვიდრე რკინის იონებით არადოპირებული MnO₂-ით მოდიფიცირებული ცეოლიტი, ხოლო Fe²⁺ იონებისაგან გაწმენდის პროცესში წყალი პრაქტიკულად არ ჭუჭყიანდება Mn²⁺ იონებით.

ცეოლიტის სტრუქტურაში ჩამჯდარი Mn²⁺ იონების ნაწილი MnO₂-მდე დაჟანგვის პროცესში ბოლომდე არ იჟანგება და რჩება ცეოლიტის სტრუქტურაში Mn³⁺ იონების სახით. წყლის გაწმენდის პროცესში ეს იონები იხსნება წყალში დისპროპორციის მექანიზმით, რაც იწვევს გასაწმენდი წყლის Mn²⁺ იონებით გაჭუჭყიანებას:



დოპირების პროცესში Fe³⁺ იონები ადვილად ჩანაცვლებს Mn³⁺ იონებს, რადგან მათ ტოლი იონური რადიუსი და მუხტი აქვს. Fe³⁺ იონებით ჩანაცვლების შედეგად მკვეთრად მცირდება ხსნადობის წყაროს – Mn³⁺ იონების შემცველობა ცეოლიტის ზედაპირზე დაფენილ MnO₂-ში.

MnO₂ არასტექიომეტრიული ოქსიდია. მასში მანგანუმის იონის დაჟანგვის ხარისხი დამოკი-

დებულია მისი სინთეზის მეთოდზე და +4 არასოდეს არ უდრის. MnO₂-ის ელექტროდის კვლევა დეტალურადაა ჩატარებული [11] სამუშაოში, სადაც ნაჩვენებია ელექტროდის ელექტროქიმიური თვისებების დამოკიდებულება მანგანუმის იონის დაჟანგვის ხარისხზე. რაც უფრო უახლოვდება მანგანუმის იონის დაჟანგვის ხარისხი +4-ს, მით უფრო MnO₂-ის ელექტროდის პოტენციალი იხრება დადებით მხარეს და იზრდება MnO₂-ის ქიმიური მდგრადობა. Fe³⁺ იონებით MnO₂-ის დოპირების შედეგად მცირდება Mn³⁺ იონების შემცველობა ცეოლიტის ზედაპირზე დაფენილ MnO₂-ში, რაც იწვევს მასში მანგანუმის იონის დაჟანგვის ხარისხის +4-თან მიახლოებას და ქიმიური მდგრადობის გაზრდას,

სასმელი წყლის გაწმენდის პროცესში ახალი მფილტრავი მასალის გამოყენების მაღალი ეფექტიანობის მეორე მიზეზი განპირობებულია ცეოლიტის მიმოცვლით კომპლექსში ჩამჯდარი Mn²⁺ იონების დაჟანგვის პროცესის ტუტე ლითონის მარილის შემცველ ხსნარში ჩატარებით [3,5]. Na⁺ იონები ხელს უწყობს ცეოლიტზე ქიმიურად ბმული MnO₂-ის ფენის წარმოქმნას, რაც აიხსნება ცეოლიტის ზედაპირზე ორი ტიპის მიმოცვლის ცენტრის არსებობით [12, 13]:

- ჰეტეროვალენტური იზომორფიზმის შედეგად (ტეტრაედრულ ბადეში ოთხვალენტური Si-ს ჩაენაცვლება სამვალენტური Al) სტრუქტურულ უჯრედში წარმოქმნილი არაკომპენსირებული უარყოფითი მუხტი კომპენსირდება კატიონებით, რომლებიც მონაწილეობს იონმიმოცვლით პროცესებში (I მიმოცვლითი ცენტრი).

- ცეოლიტის მექანიკური დამუშავებისას (დაქუცმაცებისას) ქიმიური ბმის გაწყვეტის შედეგად გვერდით ანუ განაპირა წახნაგებზე წარმოქმნილი SiOH ჯგუფის წყალბადის იონები ასევე მონაწილეობს იონური მიმოცვლის პროცესებში (II მიმოცვლითი ცენტრი).

ამგვარად, კატიონური მიმოცვლის ჯამური ტევადობა E ტოლია:

$$E = E_{\text{თბ}} + E_{\text{SiOH}}$$

სადაც E_{თბ} არის მიმოცვლითი ტევადობა, რომელიც განპირობებულია ჰეტეროვალენტური იზო-

მორფიზმით; E_{SiOH} – მიმოცვლითი ტევადობა, რომელიც განპირობებულია ცეოლიტის მარცვლების განაპირა წახნაგებზე სუსტი მჟავური თვისებების მქონე $SiOH$ ჯგუფების არსებობით.

იონმიმოცვლითი პროცესის ორი განსხვავებული მექანიზმის გათვალისწინება აუცილებელია იმ თვალსაზრისით, რომ სწორედ მეორე მექანიზმით ჩანაცვლებული იონები უკავშირდება ცეოლიტის კარკასს განსაკუთრებით მტკიცე ქიმიური ბმით. ტუტე ლითონის მარილის თანაობისას ტუტე ლითონის იონები უპირატესად მიმოიცვლება პირველი ტიპის ცენტრებში განლაგებულ Mn^{2+} იონებთან, რის შედეგადაც ცეოლიტში რჩება მხოლოდ ქიმიურად ბმული MnO_2 -ის წარმოქმნისათვის აუცილებელი Mn^{2+} -ის იონების ჩანასახები. ცეოლიტზე ქემოსორბციული ძალებით მტკიცედ ბმულ MnO_2 -ის ფენის ჩანასახები Mn^{2+} იონების ის ნაწილია, რომელიც უკავშირდება ცეოლიტის სტრუქტურას, ცეოლიტის მარცვლების მსხვერვის შედეგად წარმოქმნილი იონმიმოცვლითი ცენტრების საშუალებით. [5] სამუშაოში ნაჩვენებია, რომ კლინოპტილოლიტის ზედაპირზე ძლიერი ქიმიური ბმით დაკავშირებული MnO_2 -ის ფენა წარმოიქმნება მეორე მექანიზმით ცეოლიტის სტრუქტურაში ჩამჯდარი Mn^{2+} იონების დაჟანგვის შედეგად. ორი განსხვავებული იონმიმოცვლითი ცენტრის არსებობით არის ახსნილი სხვადასხვა ლითონის იონების შემცველ კატალიზატორში ე.წ. გაძლიერებული ოქსიდ-ოქსიდური ურთიერთქმედების ეფექტი [14]. ამ საკითხის შესწავლა საინტერესოა, თუმცა მოითხოვს ისეთი თანამედროვე ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდების გამოყენებას, როგორცაა რენტგენული ფოტოელექტრონული სპექტროსკოპია. ლიტერატურული მიმოხილვის საფუძველზე გამოვთქვამთ ვარაუდს, რომ ცეოლიტთან მანგანუმის დიოქსიდის ფენის შეჭიდულობის ხარისხი შეიძლება დამოკიდებული აღმოჩნდეს ცეოლიტის მარცვლების ზომაზე. ამ მოსაზრებას ამყარებს [13] სამუშაოში მითითებული ეფექტი, რომლის თანახმადც მინერალ მონტმორილონიტის მარცვლების ზომის გაზრდით ანუ გვერდით წახნაგებზე $SiOH$ ჯგუფების წილის შემცირებით, მკვეთრად შეიც-

ვალა მიმოცვლითი პროცესის თვისებრივი და რაოდენობრივი მახასიათებლები.

ექსპერიმენტული შედეგი, რომლის თანახმად Mn^{2+} და რკინის იონებისაგან გაწმენდის პროცესში სასმელი წყალი არ ჭუჭყიანდება Mn^{2+} იონებით, მიუთითებს იმაზე, რომ ახალი მფილტრავი მასალა მოქმედებს როგორც კატალიზატორი. ჟანგვა-აღდგენითი პროცესის წარმართვის შემთხვევაში წყალში აუცილებლად გადავიდა MnO_2 -ის აღდგენის პროდუქტი – Mn^{2+} იონები. [5] სამუშაოში გამოთქმულია მოსაზრება Mn^{2+} იონებისაგან წყლის გაწმენდის პროცესში ცეოლიტის ზედაპირზე დაფენილი MnO_2 -ით კატალიზური მოქმედების მექანიზმის შესახებ. Mn^{2+} იონების დაჟანგვის პროცესში მონაწილეობს შუალედური კომპლექსი $MnO_2 \cdot O_2$, რომელიც წარმოიქმნება წყალში გახსნილი ჟანგბადის MnO_2 -თან ურთიერთქმედების შედეგად. შუალედურ კომპლექსში $O=O$ ბმის გაწყვეტით მიღებული ატომური ჟანგბადი წყალში არსებული Mn^{2+} და Fe^{2+} იონების უშუალო დამჟანგავია. შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ სასმელი წყლის აერაცია მნიშვნელოვნად გააუმჯობესებს ახალი მფილტრავი მასალის ეფექტიანობას.

3. დასკვნა

შემუშავებულია სასმელი წყლის გაწმენდისათვის ახალი ტიპის მფილტრავი მასალა Fe^{3+} იონების შემცველი MnO_2 -ით მოდიფიცირებული ცეოლიტის მიღების მეთოდი, რომელიც ორი სტადიისაგან შედგება: I სტადიაზე ცეოლიტი მუშავდება $MnSO_4$ -ისა და $FeSO_4$ ხსნარებით, ხოლო II სტადიაზე ცეოლიტის კარკასში ჩამჯდარი Mn^{2+} და Fe^{2+} იონები იჟანგება MnO_2 -სა და Fe^{3+} იონებად. დამჟანგავად გამოყენებულია $NaClO$, რომელიც მიიღება $NaCl$ -ის წყალხსნარის უდიაფრაგმო ელექტროლიზით. ცეოლიტის ორსტადიანი დამუშავების შედეგად მიიღება Fe^{3+} იონების შემცველი MnO_2 -ით მოდიფიცირებული ცეოლიტი. დადგინდა, რომ Fe^{3+} იონებით დოპირების შედეგად მცირდება MnO_2 -ის ხსნადობა წყალში. ეს ეფექტი მაქსიმალურადაა გამოხატული, როდესაც ხსნარში პრეკურსორების – Fe^{2+} და Mn^{2+} იონების მოლური შეფარდება 0.077 შეადგენს. ამ პირობებში მოდიფი-

ცირებულ ცეოლიტში MnO_2 -ისა და Fe^{3+} იონების მასური წილი 0,43 და 0.03%-ია, ხოლო MnO_2 -ში Fe^{3+} იონების მასური წილი დაახლოებით – 7%. ურკინო MnO_2 -თან შედარებით, 7% Fe^{3+} იონების შემცველი MnO_2 -ის წყალში ხსნადობა თითქმის 94-ჯერ მცირდება. დადგინდა Mn^{2+} და რკინის იონებისაგან (Fe^{2+} და Fe^{3+}) წყლის გაწმენდის პროცესში ახალი მფილტრავი მასალის გამოყენების მაღალი ეფექტიანობა. Fe^{3+} იონების შემცველი გაზრდილი ქიმიური მდგრადობის MnO_2 -ით მოდიფიცირებული ცეოლიტი Mn^{2+} იონებისაგან წმენდს უფრო მეტი მოცულობის წყალს, ვიდრე რკინის იონებით არადოპირებული MnO_2 -ით მოდიფიცირებული ცეოლიტი, ხოლო Fe^{2+} იონებისაგან გაწმენდის პროცესში წყალი პრაქტიკულად არ ჭუჭყიანდება Mn^{2+} იონებით. ლიტერატურულ წყაროებზე დაყრდნობით გამოთქმულია მოსაზრება Fe^{3+} იონებით დოპირების შედეგად MnO_2 -ის წყალში ხსნადობის შემცირების მიზეზებზე.

შემუშავებულ მეთოდზე საკპატენტში შეტანილია განაცხადი გამოგონებაზე: Fe^{3+} იონების შემცველი მანგანუმის დიოქსიდით მოდიფიცირებული ცეოლიტის მიღების ხერხი (ავტორები: ჯ.შენგელია, გ. გალოგრე. განაცხადის № 15408/1. რეგისტრაციის თარიღი 14. 08. 2020).

ლიტერატურა

1. Водоподготовка. Справочник. Под редакцией С.Е.Беликова, М., Аква-Терм, 2007.
2. R. Aikllo, A.Nastro, C. Calella. Effluent and roater treatment Journal, 1978, V.18, P.611-617.
3. Патент Российской Федерации RU (2091158) C1. Способ получения фильтрующего материала для удаления ионов марганца из воды. Поляков В.Е., Остапенко В.Т., Полякова И.Г., Тарасевич Ю.И., Шовгай А.С., Кулищенко А.Е. 27.09.1997
4. Патент Японии №5130387, C 02 B1/26, 1976.
5. Ю.И. Тарасевич, В.Е.Поляков, З.Г. Иванова, Д.А. Крысенко. Получение и свойства клиноптилолита, модифицированного диоксидом марганца. Химия и технология воды, т.30,№2, 2008.
6. თ. აგლაძე, ჯ. შენგელია, მ. გაბრიჩიძე, მ. დონაძე. მანგანუმის დიოქსიდით მოდიფიცირებული ცეოლიტის მიღების ხერხი. საქართველოს პატენტი GE P 2013 5952 B.
7. Huimin Chen, Lei Jin, Meidong Wang, Danny Xiao, David Reisner. Reducing Dissolution of MnO_2 nanofibers by doping with ferric Ion. Science and Technology of Advanced Materials, 8(2007), p. 63-66.
8. National Sanitation Foundation, Drinking Water Treatment Units-Health Effects, NSF/ANSI Standard 53-2002.
9. შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის საგრანტო პროექტის „არაპირდაპირი ელექტროქიმიური აღდგენისა და დაჟანგვის მეთოდით ცეოლიტების მოდიფიცირების ტექნოლოგიის დამუშავება“ (საგრანტო ხელშეკრულება N AR/166/3-200/13) დასკვნითი ანგარიში. 2016, გვ. 220
10. ჯ. შენგელია, ი. სულაძე, ვ. თედიაშვილი, თ. ტყემელაშვილი, ლ. ბერიაშვილი, შ კიკაბიძე. Mn^{2+} იონებისაგან წყლის გამწმენდი მფილტრავი მასალის მიღების ხერხი. საქართველოს პატენტი GE P 2017 6676.
11. К.Феттер. Электрoхимическая кинетика. Изд. «Химия», М.,1967.
12. Ю.И. Тарасевич. Строение и химия поверхности слоистых силикатов. Наукова Думка, Киев, 1988.
13. Ю.И. Тарасевич, Ф. О. Овчаренко. Адсорбция на глинистых минералах. Наукова Думка, Киев, 1975.
14. И.А. Иконников, Т.В. Воскобойников, А.А. Железнова, А.Ю. Логинов. Особенности оксидного взаимодействия в нанесённых Мп – содержащих катализаторах по данным рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. ЖФХ, 1995, №11, с.1975-1979.

UDC 666.762.93

OBTAINING AND TESTING OF MANGANESE DIOXIDE-MODIFIED ZEOLITE WITH HIGH CHEMICAL RESISTANCE FOR DRINKING WATER PURIFICATION

J. Shengelia, G. Galogre

Department of Chemical and Biological Technologies, Georgian Technical University, 69 Kostava St., Tbilisi, 0160, Georgia

E-mail: jshengelia@gtu.ge

Resume: Purpose. Development and testing of a method for obtaining a novel filtration material with similar efficiency of foreign filters made on the basis of MnO₂-modified zeolite for removal of Mn²⁺ and iron ions from drinking water.

Method. Iron ions doping method is used to solve the problem of increasing the chemical resistance of MnO₂ deposited on the surface of zeolite. Natural zeolite clinoptilolite from the Georgian deposit Dzegvi was taken for the study. Indirect electrochemical oxidation method is used for oxidation of Mn²⁺ and Fe²⁺ ions deposited in the zeolite structure by ion exchange, and the NaCl - NaClO system is chosen as the intermediary. The NSF / ANSI 53-2002 test, developed by the US National Sanitation Foundation and the National Standards Institute, is used to determine the chemical stability or water solubility of MnO₂. The concentrations of Mn²⁺ and iron ions in purified water are determined by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-OES).

Result. Doping of Fe³⁺ ions reduces the solubility of MnO₂- deposited on zeolite. This effect is most pronounced when the molar ratio of precursors - Fe²⁺ and Mn²⁺ ions in solution is 0.077. The mass fraction of MnO₂ and Fe³⁺ ions in the modified zeolite under these conditions is 0.43 and 0.03%, respectively, and in MnO₂ the mass fraction of Fe³⁺ ions is 7.0%. Compared to non-ferrous MnO₂, the water solubility of MnO₂ containing 7% Fe³⁺ ions is reduced by almost 94 times. MnO₂-modified zeolite with high chemical resistance, containing Fe³⁺ ions, exhibits high efficiency in the process of removing Mn²⁺ and iron ions from water. Its specific capacity is 1.9 times higher than that of a foreign filtration material in the process of removing Mn²⁺ ions from water. The specific capacity of the filtration material is also high in the process of removing iron ions from water and, most importantly, at this time the water is not contaminated with Mn²⁺ ions.

Conclusion. The novel filtration material - MnO₂-modified zeolite with high chemical resistance, containing Fe³⁺ ions, is characterized by high efficiency in the process of removing Mn²⁺ and iron ions (Fe²⁺ and Fe³⁺) from drinking water.

Keywords. Modified zeolite; manganese dioxide; water purification; indirect electrochemical oxidation.

მცენარეული წარმოშობის ბიოლოგიურად აქტიურ ნივთიერებათა როლი და დანიშნულება კიბოს საწინააღმდეგო კვების პროდუქტებში

თ. წივწივაძე¹, ნ. ჩიგოგიძე¹, ვ. წივწივაძე², ნ. ბრეგაძე³, ი. დიდბარიძე³

¹საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. ბიოლოგიურად აქტიურ ნივთიერებათა კვლევის სამეცნიერო ცენტრი. საქართველო. 0160, თბილისი, კოსტავას 69

²კავკასიის საერთაშორისო უნივერსიტეტი. საქართველო. თბილისი, 0159, ჩარგალის 74

³ქუთაისის ა. წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი. ქიმიის დეპარტამენტი. საქართველო, ქუთაისი. თამარ მეფის 59

E-mail: tsivtsiv@dzegtu.ge

რეზიუმე: მიზანი. საყოველთაოდ ცნობილია, რომ ონკოლოგიურ დაავადებათა პროფილაქტიკისა და მკურნალობის საიდუმლოება მდგომარეობს სპეციალურად შერჩეულ და მომზადებულ მენიუმში, სადაც მნიშვნელოვანი როლი დათმობილი აქვს კვების იმ პროდუქტებს, რომლებშიც ბევრია ვიტამინი და ანტიოქსიდანტი – უწინარესად ეს არის ქორფა ბოსტნეული, ხილი და თევზეული, რომელთა მოხმარება უაღრესად აუცილებელია ცოცხალ ორგანიზმთა არსებობისა და ცხოველმყოფელობისათვის [1-3].

მეთოდი. მიმდინარეობს მნიშვნელოვანი კლინიკური კვლევები ონკოპაციენტთა მონაწილეობით. ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით, თანამედროვე მოთხოვნებია: 1) პრეპარატების ფიქსირებული დოზების შეყვანის მოხერხებული და ხელმისაწვდომი მეთოდები; 2) სიმსივნეთა ქიმიოთერაპიულ პრეპარატებთან შეთავსება; 3) პრეპარატებს შორის სამკურნალო ურთიერთქმედებათა მისაღები პროფილები.

შედეგი. ავთვისებიან სიმსივნეთა უარყოფითი ელექტრული პოტენციალის გათვალისწინებით გაჩნდა იდეა, გამოგვეყენებინა უარყოფითი, მრავალმუხტიანი, გრძელჯაჭვიანი ორგანული იონები, სიმსივნურ უჯრედთა ბლოკატორისა და კონკურენტის სახით. ჩვენ მიერ სინთეზირებული ახალი ინჰიბიტორული კლასის პრეპარატების პირველი წარმომადგენელია ამფიცეზინი, რომელიც ფიბრინოლიზური აქტივობით გამოირჩევა. მე-2 თაობის პრეპარატებს კიდევ უფრო მეტად

გავუძლიერეთ ეს თვისება, რაც ახალ კორონავირუსულ ინფექციასთან გამკლავებაში ასე მნიშვნელოვანია.

დასკვნა. ცნობილია, რომ რაც უფრო მეტია ადამიანის სიმსივნურ და ჯანმრთელ უჯრედებს შორის არსებული განსხვავება, მით უფრო ადვილია ისეთი ქიმიური ნივთიერებების შექმნა, რომლებსაც ახასიათებს ონკოუჯრედებზე შერჩევითი მოქმედება და სწორედ ეს განმასხვავებელი თავისებურებაა ძირითადი სამიზნე სიმსივნურ უჯრედებთან მიზანმიმართულ ბრძოლაში. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია იმის აღნიშვნა, რომ მომატებული უარყოფითი ელექტრული მუხტი ზრდის სიმსივნურ უჯრედთა ავთვისებიანობას. აღსანიშნავია ისიც, რომ კანცეროგენური ნივთიერებები, ჩვეულებრივ, სწორედ უჯრედთა უარყოფითი მუხტების ზრდას უწყობს ხელს.

მრავალწლიანი მიზანმიმართული სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის შედეგად შევქმენით სრულიად მაღალაქტიური, მრავალმუხტიანი, გრძელჯაჭვიანი ორგანული ანიონები, მაკრომოლეკულები, რომლებიც დაკავშირებულია ძლიერ ტუტე მეტალებთან – რუბიდიუმსა და ცეზიუმთან.

სინამდვილეში არა მხოლოდ ფერხდება და იბლოკება ონკოუჯრედთა ტრანსპორტირება და ადჰეზია ენდოთელიუმისა, არამედ ონკოუჯრედები ნადგურდება.

სადღეისოდ არსებული ქიმიოპრეპარატებისგან განსხვავებით, ჩვენ მიერ შექმნილი ახალი მაკრომოლეკულები არ მოქმედებს ჯანმრთელ უჯრედებზე და არ აქვს გვერდითი მოვლენები.

საკვანძო სიტყვები: ონკოლოგიური დაავადება; მეტასტაზები; რადიკალური მეთოდები; სიმსივნური უჯრედები; ფიბრინი; ადჰეზია; ენდოთელიუმი; თრომბი.

1. შესავალი

ადამიანის ჯანმრთელობის დამცავებიდან ყველაზე მთავარია: გოგრა (კვახი), ჭარხალი, საკვები თაღვამი, წიწაკა (პილპილი), ტოპინამბური (მიწვამლა), მსხალი, ვაშლი, ლიმონი, ფორთოხალი, კივი და აგრეთვე კამა, ოხრახუში, ქინძი, ისპანახი, ნიახური, ძირთეთრა [4] და სხვა.

სეზონში შეეცადეთ მიირთვათ, რაც შეიძლება მეტი კურკოვანი კენკრა: მოცვი, ლურჯი მოცვი, მარწყვი, ხახამა, წითელი მოცვი, შტომი, ალუბალი, ცირცელი, ამასთან არა მხოლოდ შავნაფოვანი, არამედ ჩვეულებრივიც – წითელი [5].

კომბოსტოს დიდი ოჯახიდან პირველია ბროკოლი კომბოსტო, თეთრი და წითელი თავხვეული კომბოსტო, ბრიუსელისა და ჩინური კომბოსტო, ყვავილოვანი და კოლრაბი (ხვიტი)

კომბოსტო, ასევე ბოლოკი და თვის ბოლოკი. ყველა მათგანი შეიცავს მძლავრ სიმსივნის საწინააღმდეგო ნივთიერებას – ინდოლ 3-კარბონილი.

უარი არ თქვამთ ჩვეულებრივ სტაფილოზე, ხურმაზე, კუნელზე, ქაცვზე (შავეკალა), რომლებიც შეიცავს ანტიოქსიდანტს – ბეტა-კაროტინს [9,10].

მიირთვით ცოცხალი (ახლად დამზადებული) და მოშუშული ზეთიანი (ერბოკარაქიანი) ტომატი (პომიდვრის). შეკვამეთ კერძი კეტჩუპით (კონსერვანტების გარეშე), დალიეთ ტომატის წვენი – მასში არის ნივთიერება ლიკოპინი, რომელიც აქტიურად ებრძვის ონკოლოგიურ დაავადებებს [4].

შეიტანეთ თქვენს მენიუში შემდეგი სასარგებლო პროდუქტები: ზღვის თევზი, თევზის ქონი (იყიდება კაფსულებში), ცივი გამოწურვის მცენარეული ზეთი – ეს პროდუქტები მდიდარია ომეგა 3-პოლიგაუჯერებელი ცხიმოვანი მჟავებით, რომლებიც ასევე აქტიურად ეწინააღმდეგება სიმსივნეთა განვითარებას [6,7].



ბოსტნეული, ხილი, თევზეული და სხვა მრავალი [1-15]

არ შეიძლება არ გავიხსენოთ ხახვი და ნიორი, რომელთა შედგენილობაში არის ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერება ალიცინი – კუჭნაწლავის ტრაქტის კიბოს პროფილაქტიკის მძლავრი საშუალება [8].

ძალიან სასარგებლო სოკოები: განსაკუთრებით თეთრი – მოშუშული სახით. ხალხი, რომლებიც მოიხმარენ ბევრ სოკოს, მათში სულ-

ფიდებისა და სელენის დაბალი შემცველობის გამო, ნაკლები მიდრეკილება აქვთ სიმსივნური დაავადებების წარმოშობისაკენ [9].

დაუმატეთ E ვიტამინის შემცველი პროდუქტები.

ტოკოფეროლი, რომელიც ასევე ეწინააღმდეგება ახალ სიმსივნურ წარმონაქმნებს, ზღვის კომბოსტო, მარცვლოვანთა წამონაზარდები (ყლო-

რტები), კაკალი (ნიგოზი), კვერცხის გული [11] და სხვა.

მიირთვით მწვანე ჩაი, ასკილის ნაყენი და სასმელები, მათ შორის კაკაო [12].

2. ძირითადი ნაწილი

სიმსივნურ უჯრედებთან ბრძოლაში დახმარება შეუძლია ველურ მცენარეებს: მრავალძარღვას, ჭინჭარს, ოროვანდს, წყალნაყენს, რომელთა ახალი (ნორჩი) ფოთლების დამატებით მნიშვნელოვნად უმჯობესდება სალათის, წვნიანის, ბორშის, ბოსტნეულის რაგუს კვებითი, პროფილაქტიკური და სამკურნალო თვისებები [10].

რა ვნებს ადამიანს? უპირველესად, საფუარის შემცველი პროდუქტები: პური, ბლინი, ღვეზელი, ბურაბი, ლუდი (პასტერიზაციის გარეშე), ოჯახის ღვინო, ღვინის მმარი, კეფირი, მჟავე კიტრი და პომიდორი. ამიტომ, სახლში ცხოვისას შეეცადეთ გამოიყენოთ გაფაშრებული (გაფხვიერებული) ნედლეული, სასმელი სოდა ან მიირთვათ ლავაშის ტიპის პური [10].

როდესაც რაიმეს წვავთ (ხრაკავთ), მაგალითად კარტოფილს (განსაკუთრებით არარაფინირებული მცენარეული ზეთით), მაშინ მის ზედაპირზე წარმოიქმნება კანცეროგენური აკრილამიდი, სხვა პროდუქტებში ჩნდება აგრეთვე კანცეროგენური და ტოქსიკური ნივთიერებები, მათ შორის ბენზპირენი, რომლის კანცეროგენური აქტივობა ჯერ კიდევ გასული საუკუნის დასაწყისში დადგინდა [9,10].

აკრძალულ ზონაში ხვდება შებოლილები (ბოლოში გამოყვანილი). მათი დამზადებისას ასევე წარმოიქმნება ისეთი ნივთიერებები, რომლებიც ხასიათდება კანცეროგენური თვისებებით და შემოთქმული ბენზპირენის წარმოშობით და კიდევ სხვა ბევრი არანაკლებ მავნე ნაერთებით [10].

მოგვიწევს ტკბილეულის რაოდენობის შემცირება, რადგან გლუკოზა – უპირველესი საკვები პროდუქტი ხელს უწყობს სიმსივნურ უჯრედების ენერგიულ ზრდა-განვითარებას და რაკი ასეა შაქარი, კანფეტი, ღვეზელი, ტორტი, ჯემი, ტკბილი და გაზიანი სასმელები და კიდევ მურა-

ბა, თაფლი, ლეღვი, ფინიკი (ინდური ხურმა) უნდა გაქრეს ყოველდღიური რაციონიდან [11].

და კიდევ დავალებსნაირი: დაიყოლიეთ თქვენი თავი მიირთვათ ცოტა ხორცი, განსაკუთრებით ეს ეხება წითელ ხორცს და შიგნეულობას (ღვიძლი, ფილტვი, თირკმელი).

ხორციანი ბულიონი ასევე ერთობ არასასურველია. და თუ მაინც უხორცობა არ შეგიძლიათ, არჩევანი გააკეთეთ ქათამზე (წიწილა), ინდაურსა და ბატკანზე [11,13].

ნუ გაგიტაცებთ ყველი ობით – ობიანი ყველი, როკფორი, კამამბერი, ბრი.

გახსოვდეთ, ანტიბიოტიკებს, რომლებსაც გამოიმუშავენ ობი, შეუძლია გამოიწვიოს მუტაციები (მემკვიდრეობითი ცვლილება), ხელი შეუწყოს დისბაქტერიოზს. მაგრამ ასეთი ყველი ითვლება დელიკატესად და ბევრსაც უყვარს. ეს ნიშნავს, რომ ზოგჯერ შეიძლება წათამამო, მაგრამ იშვიათად [13,14].

თითქმის ყველამ იცის, რომ ვადაგასული პროდუქტის გამოყენება არ შეიძლება მაშინაც კი, როცა ვაშლს და პომიდორს ან თუნდაც პურს ჩამოვაჭრით დასნებოვნებულ ნაწილებს (დაჭიანებულს, დაობებულს), მათი საკვებად გამოყენება მაინც ძალიან საშიშია. ამას დაუმატეთ ობიანი ნიგოზი, არაქისი, თხილი და აფლატოქსინები, რომლებიც გამოირჩევა მძლავრი კანცეროგენური თვისებებით. ამავე მიზეზით უკეთესი იქნება არ ვიხმაროთ ტომატ-პასტა, რამეთუ მას ხშირად ამზადებენ არაკონდიციონირებული პომიდვრისაგან [9,10].

ყურადღება მიაქციეთ საკვების ტემპერატურას: ძალიან ცხელი საჭმელი ხელს უწყობს საყლაპავი მილისა და კუჭის ლორწოვანი გარსის გაღიზიანებასა და დაზიანებას, რაც ნიშნავს საშიში ახალწარმონაქმნის სიმსივნეთა გაჩენას [15].

თავად იცით მაგარი სპირტიანი სასმელებისა და თამბაქოს მოწვევის შესახებ, ამიტომ ამჯერად მათზე ყურადღებას არ გავამახვილებთ.

აუცილებლად წაიკითხეთ ეტიკეტი, რომ არ გადაეყაროთ ისეთ პროდუქტებს და ნახევარფაბრიკატებს, რომლებშიც გამოყენებულია ისეთი დანამატები, რომლებსაც ახასიათებს კანცეროგე-

ნური თვისებები: E 210 – E 216, E 240, E 249 – E 252, E 280 – E 283.

სიმსივნის საწინააღმდეგო

სამაგალითო დიეტური მენიუ

საუზმე: 0,5 ჭიქა სტაფილოს ან კიტრის წვენი, ცეხვილი შვრიის ფაფა რძეზე, შეხმობილი პური ყველით, ფინჯანი კაკაო.

მეორე საუზმე: 2 ვაშლი ან მსხალი, კრეკერი, პეშვი (მუჭა) მზესუმზირა ან გოგრის (კვახის) თესლი.

სადილი: სალათა ნედლი სტაფილოს ან თავხვეული კომბოსტოსგან ლიმონის წვენი და მზესუმზირის ზეთით; სოკოს წვნიანი კარტოფილით, ქათმის სუკის ულუფა მოხარშული კომბოსტოთი, ვაშლის ნამცხვარი.

სამზარი: მწვანე ჩაი, კრეკერი, გალეტი.

ვახშამი: მოხარშული ჭარხლის სალათა ზეთისხილის ზეთით და ლიმონის წვენი, უსაფუვრო პური ყველით, წიწიბურას ფაფა მოშუშული პომიდვრით და ხახვით, მწვანე ჩაი.

ძილის წინ: ერთი ჭიქა მაწონი. განსაკუთრებით სასარგებლოა სააფთიაქო შედედებულ-შემქავებული „ნარინე“, „აციდოლაქტი“, „ევიტალია“.

შეიძლება, მაგრამ ფრთხილად!

• შეზღუდეთ ბანანი, კარტოფილი, თეთრი პური (უმადლესი ხარისხის ფქვილის, რამეთუ მასში შემავალი სახამებელი ხასიათდება დუღილისადმი მიდრეკილებით ნაწლავებში).

• ყურძენი, ქლიავი, ჩამიჩი, ფინიკი, ლეღვი, შავქლიავი; მოხმარებამდე ამ ხილს გადაავლეთ ცხელი წყალი (მათ ზედაპირზე ყოველთვის არის საფუარის სოკოები), რომ გათავისუფლდეს საფუარის უჯრედებისაგან.

• კარაქის ნაცვლად უკეთესია გამოიყენოთ (იხმაროთ) მცენარეული ზეთი.

3. დასკვნა

ჩატარებულ მრავალმხრივ კვლევათა საფუძველზე ცალსახად განისაზღვრა სიმსივნის საწინააღმდეგო მცენარეული წარმოშობის საკვები პროდუქტების უსაფრთხო გამოყენების პირობები და

მათი მახასიათებლები, რომლებიც მთლიანად უზრუნველყოფენ მომხმარებელთა ჯანსაღ კვებას ვიტამინებითა და ანტიოქსიდანტებით.

ლიტერატურა

1. Зубаиров Д.М. Биохимия свертывания крови. – М., Медицина, 1978.
2. Вольф М., Рансбергер К. Лечение ферментами / пер. с англ., Мир. 1976, 232с.
3. Фосфор в окружающей среде / пер. с англ. – М., Мир, 1977, 760с.
4. Лос К. Синтетические яды / пер. с нем. – М., Изд-во Ил. 1963, 258с.
5. Вартамян Р.С. Синтез основных лекарственных средств. – М., Медицинское информационное агенство, 2004, 845с.
6. Тюковкина Н.А., Бауков И. Биоорганическая химия. – М., Медицина, 1991, 528с.
7. Николаев А.Я. Биологическая химия. – М., Высшая школа, 1989, 495с.
8. Овчинников Ю.А. Биоорганическая химия. М., Просвещение, 1987. – 815с.
9. Машковский М.Д. Лекарственные средства. – М., Новая Волна, 2005, 1200с.
10. Альберт А. Избирательная токсичность. Физико-химические основы терапии. Пер. с англ. – М., Медицина, 1989, т. 1-2.
11. Граник В.Г. Основы медицинской химии. – М., Вузовская книга, 2001, 384с.
12. Гудман М., Морхауз Ф. Органические молекулы в действии. – Мир, 1977, 336с.
13. თენგიზ წიფწივაძე, ჟუჟუნა პეტრიაშვილი, რუსუდან ჯაფარიძე, ნოდარ ჩიგოგიძე. სოკოს საწინააღმდეგო პრეპარატ კლოტრიმაზოლთან ზოგიერთი ბიომეტალის კომპლექსნაერთები. – თბილისი. სტუ, 2017, 106გვ.
14. ნ. ჩიგოგიძე, თ. წიფწივაძე, ი. ნადირაძე, ჟ. პეტრიაშვილი, რ. ჯაფარიძე. სპეციფიკური კონფორმაციული სტრუქტურის გავლენა კლოტრიმაზოლის ბიოკომპლექსნაერთთა ციტოტოქსიკური აქტიურობის გამლიერებაში // საქართველოს საინჟინრო სიახლენი (GEN), №2 (Vol. 78), 2016 გვ. 112-119. 2016გვ. 112-119.

15. თ. წივწივაძე რ. მაჩხოშვილი, ნ. ჩიგოგიძე, რ. სხილაძე, გ. სულაქველიძე. მცენარეულ ალკალოიდებთან კიბოს საწინააღმდეგო ბიოკოორდინაციული ნაერთების სინთეზი, აღნაგობა

და თვისებები // საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის მაცნე, ქიმიის სერია, 2012, ტ. 38, №4, გვ. 317-324.

UDC 546

THE ROLE AND PURPOSE OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES OF PLANT ORIGIN IN ANTICANCER FOODS

T. Tsivtsivadze¹, N. Chigogidze¹, V. Tsivtsivadze², N. Bregadze³, I. Didbaridze³

¹Research Center for Biologically Active Substances of GTU. Georgia, 0160, Tbilisi, Costava str.69

²Caucasus International University. Georgia, Tbilisi, 0159, Chargali str. 74

³Akaki Tsereteli State University of c.Kutaisi. Department of Chemistry, Georgia, Kutaisi, Queen Tamar str. 59

E-mail: tsivtsiv@dzegtu.ge

Resume: Goal. Herbal medicines are natural complex compounds of microelements. There are is in human organs and tissues, among them are the most essential: iron, copper, zinc, iodine, cobalt, manganese and others. Practical all metabolic processes are completed with their participation. Their concentration in the human organs is related to their biological role.

Method. The secret of the treatment and prevention of cancer is associated with specially selected menu.

Results. In which an important role is played by foods containing many vitamins and antioxidants.

Conclusion. First of all, these are fresh vegetables, fruits, berries and green-stuff in general.

Key words: oncological disease; metastases; radical methods; tumor cells; optically active; fibrin; adhesion; endothelium; thrombus; plasma cells; pumpkin; berries; green tea; alcoholic beverage.

უაკ 666.563

აფუებული ყვარლის თიხაფიქლის ფოროვან სტრუქტურაში ფორების სახეობათა დადგენა

თ. ჭეიშვილი¹, რ. სხვიტარიძე¹, მ. აბაზაძე², მ. ტურძელაძე², გ. ლოლაძე¹

¹ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველო, 0160, თბილისი, კოსტავას 69

² ლევან სამხარაულის სასამართლო ექსპერტიზის ეროვნული ბიურო, კირიაკ ზავრიევის სამშენებლო მექანიკის, სეისმომდეგობისა და საინჟინრო ექსპერტიზის დეპარტამენტი, საქართველო, 0159 თბილისი, ნ. ბოხუას ქ. 23

E-mail t.cheishvili@gtu.ge

რეზიუმე: მიზანი. კვლევის მიზანია ბუნებრივი და ხელოვნური აფუებული ყვარლის ფიქლიდან მიღებული ფოროვანი მასალის (კერამიტი) ფორების რაოდენობის და სახეობათა დადგენა.

მეთოდი. ბუნებრივი და ხელოვნურად აფუებული ფიქლის ნიმუშებს განესაზღვრა ჭეშმარიტი სიმკვრივეები და ღია ფორიანობა, რომელთა საფუძველზე დადგინდა აფუებულ მასალაში ფორების სახეობა და რაოდენობა.

შედეგი. საწყისი ბუნებრივი და თერმული დამუშავებით აფუებულ თიხაფიქალს დაუდგინდა ღია ფორიანობის მნიშვნელობის დამოკიდებულება მარცვლების ზომებთან და საკვლევი მასალებში ფორების სახეობათა რაოდენობა.

დასკვნა. ბუნებრივი ყვარლის ფიქლის და მისგან მაღალტემპერატურული აფუებით მიღებულ კერამიტს განესაზღვრა ჭეშმარიტი და მოჩვენებითი სიმკვრივეების გასაშუალებული მნიშვნელობები. დადგინდა, რომ აფუებულ ყვარლის ფიქალს დაახლოებით 80%-იანი ფორიანობა ახასიათებს, ხოლო დახურული ფორებისა და ღია ფორების თანაფარდობა დაახლოებით 7:1 ფარდობითაა წარმოდგენილი.

საკვანძო სიტყვები: ფიქალი; აფუება; კერამიტი; სიმკვრივე; ფორიანობა.

1. შესავალი

ფორიან არაორგანულ მასალებს განსაკუთრებული ადგილი უკავია მრავალ სამრეწველო დარგში (სამშენებლო ინდუსტრია, მეტალურგია, აგროინდუსტრია და სხვა). გარდა პირდაპირი გამოყენებისა, მათ საფუძველზე შესაძლებელია მრავალი სახეობის შემსუბუქებული მასალის და ნაკეთობის მიღება [1,2].

ბუნებაში აღნიშნული სახეობის მასალები იშვიათია და მათი მიღება (მაგ., აფუებული პერილიტი, აფუებული თიხები და ფიქალები და ა.შ.) ხელოვნურად ხდება. ამ მიმართულებით ბოლო წლებში ყურადღება ეთმობა საქართველოში არსებულ ბუნებრივ ქანს – ყვარლის ფიქალს. აღნიშნული მასალის შესწავლის საფუძველზე გამოთქმულია მოსაზრება და შესაბამისი კვლევებით დასტურდება მისი სილიკატურ დარგსა და სამშენებლო საქმეში გამოყენების პერსპექტიულობა [2].

ყვარლის ფიქლის მიმართ ინტერესს განაპირობებს ის გარემოებაც, რომ ყვარლის ფიქალი სასარგებლო პროდუქტია – კერამიტის ადგილობრივ სანედლეულო ბაზა და ამავე დროს ყვარლის რეგიონში მნიშვნელოვანი ეკოლოგიური პრობლემების წყარო, რაც გადაწყვეტას ითხოვს. ყვარლის ფიქალზე ჩატარდა მრავალი კვლევა და დადგინდა, რომ მისგან შესაძლებელია, თერმული აფუებით, მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების მქონე ფოროვანი მასალის მიღება. ასეთი მასალის

განმსაზღვრელ ფაქტორად მიიჩნევა მისი ფორიანობის ხარისხი და ფორების სახეობა [3, 4].

მრავალი სახის ფოროვანი თბოსაიზოლაციო მასალების მთავარ თავისებურებაა მაღალი ფორიანობა. ფორებს უწოდებენ მასალაში არსებულ, როგორც წესი, მცირე ზომისა და მოცულობის სიცარიელებს. ცნობილია, რომ, რაც უფრო დიდია მასალის ფორიანობა, მით ნაკლებია მასალის სიმკვრივე და პირიქით. აღსანიშნავია ორი სახის ფორიანობა – მაკროფორიანობა (თვალთ შესამ-

ჩნევი ფორები) და მიკროფორიანობა (მიკროსკოპით ხილვადი), რომლებიც ხშირად ერთობლივადაა წარმოდგენილი ფორიან მასალაში. როგორც წესი, მასალათა თვისებების ჩამოყალიბებაში წამყვანი ადგილი მაკროფორებს უკავია.

მაკროფოროვანი აღნაგობა შეიძლება იყოს უჯრედოვანი, მარცვლოვანი, ბოჭკოვანი, ფირფიტოვანი ან შერეული. არაორგანული ფოროვანი მასალები ძირითადად ხასითდება უჯრედოვანი ან მარცვლოვანი აღნაგობით (ცხრ. 1).

ცხრილი 1

ზოგიერთი სახის მასალის ფორიანობა და ფორების რაოდენობა

აღნაგობა (სტრუქტურის წყობა)	მასალები	ფორიანობა, %		
		ჭეშმარიტი (სრული)	ღია (მოსვენებითი)	დახურული
უჯრედოვანი	უჯრედოვანი ბეტონი	85-90	40-50	4-45
	ქაფმიწა	85-90	2-5	83-85
	პენოპლასტი	92-99	1-55	45-98
ბოჭკოვანი	მინერალური ბამბა	85-92	85-92	0
მარცვლოვანი	პერლიტური	85-88	60-65	22-25

2. ძირითადი ნაწილი

კვლევის ჩატარების წინაპირობა განაპირობა იმ გარემოებამ, რომ კვლევის ამ ეტაპის ძირითადი მიზანია აფუებული ყვარლის ფიქლების (კერამზიტი) ფორიანობის განსაზღვრა, მათი სახეობისა და სტრუქტურული მოწყობის დადგენით. ამისათვის განხორციელდა საწყისი ნედლეულის (ყვარლის ფიქალი) და მისგან ოპტიმალურ პირობებში (ტემპერატურა $1200 \pm 25^{\circ}\text{C}$; დაყოვნების დრო 10-12 წთ) თერმული დამუშავებით მიღებული ფორიანი მასალის (კერამზიტი) ჭეშმარიტი სიმკვრივისა და მოჩვენებითი ფორიანობის სიდიდეთა განსაზღვრა.

ორივე თვისების შესწავლის შედეგი (გასაშუალოებული სიდიდეების დადგენით) წარმოდგენილია მე-2 და მე-3 ცხრილებში. ჭეშმარიტი სიმკვრივისა (γ) და მოჩვენებითი ღია ფორიანობის (P_{ϕ}) სიდიდეები, როგორც მოსალოდნელი იყო, განსხვავდება საწყისი ქანისა (ყვარლის ფიქალი) და მისგან მიღებული აფუებული (კერამზიტი) მასალისათვის. აფუებული მასალა ხასიათდება უფრო დაბალი ჭეშმარიტი სიმკვრივის სიდიდით ($2,53 \text{ გ/სმ}^3$, როდესაც ბუნებრივი მასალა $\gamma=2,69 \text{ გ/სმ}^3$), მაგრამ უფრო მაღალი ღია ფორიანობით, რადგან ბუნებრივი ფიქლისათვის $P_{\phi} = 5,3\%$, ხოლო მისგან მიღებული ფორიანი მასალისათვის $P_{\phi}=9,5\%$ -ს.

საწყისი მშრალი ფიქლის და მიღებული აფუებული მასალების
ჭეშმარიტი სიმკვრივეები (პიკნომეტრის მეთოდი)

№	ნიმუშის დახასიათება	მასალის წარმოშობის სახე და მიღების პირობები			მასალის სინჯის ჭეშმარიტი სიმკვრივე (ρ), გ/სმ ³	მასალის გასაშუალოებული ჭეშმარიტი სიმკვრივე (γ), გ/სმ ³
		ტემპერატურა °C	ხანგრძლივობა, წთ	ფრაქცია, მმ		
1	საწყისი მასალა	130	180	<0,063	2,68	2,69
2	„	„	„	„	2,74	
3	„	„	„	„	2,65	
4	აფუებული მასალა	1200±25°C	10-15	10-15	2,48	2,53
5	„	„	„	„	2,57	
6	„	„	„	„	2,54	

ბუნებრივი ფიქლის და მისგან თერმოდამუშავებით მიღებული
აფუებული მასალების მოჩვენებითი (ღია) ფორიანობა
(ჰიდროსტატიკური აწონის მეთოდი)

№	მასალის მახასიათებლები			ნიმუშების (სინჯების) წონები, გ	მოჩვენებითი (ღია) ფორიანობა (P_{ϕ}), %	
	სახეობა	თერმოდამუშავების პარამეტრები			ნიმუშის	გასაშუალოებული
		ტემპერატურა °C	დრო, წთ			
1	ბუნებრივი	180	30-40	3,5648	5,3	5,1
2	„	„	„	2,9112	5,0	
3	„	„	„	4,2276	5,6	
4	„	„	„	3,1164		
5	აფუებული	1200	10-12	1,0366	10,1	9,5
6	„	„	„	0,7942	9,1	
7	„	„	„	0,6078	9,4	
8	„	„	„	0,9352	9,0	
9	„	„	„	0,6520	10,3	
10	„	„	„	1,1314	9,1	

ცნობილია, რომ ჭეშმარიტი (ანუ სრული) ფორიანობის (P_3) სიდიდის განსაზღვრისას საჭიროა მასალის მოჩვენებითი სიმკვრივის (ρ) ცოდნა (ვინაიდან $\rho_j = \frac{\gamma - \rho}{\gamma} = 1 - \frac{\rho}{\gamma}$) და ამისთვის გაიზომა მისი მნიშვნელობა (ჰიდროსტატიკული აწონის მეთოდი).

ორი მახასიათებელი სიდიდის – მასალის კუთრი (γ) და მოცულობითი (ρ) წონების მნიშვნელობები მოყვანილია მე-4 ცხრილში. აქვეა წარ-

მოდგენილი ჭეშმარიტი (სრული) და მისი ორი შემადგენელი: ღია (მოჩვენებითი) და დახურული ფორიანობის (შესაბამისად, $P_3 = P_e + P_c$) მნიშვნელობები.

საკვლევ მასალათა შესაბამისი მახასიათებლები დაადგინეს შესაბამისი სტანდარტებისა (2211-2020 და 2211-65) და მეთოდურ ლიტერატურაში არსებული რეკომენდაციების დაცვით [5, 6]).

ცხრილი 4

საწყის ნედლეულში და აფუებულ მასალაში ფორების სახეობათა რაოდენობა

მასალის დასახელება	სიმკვრივეთა სახეობა და მნიშვნელობები, გ/სმ ³		მასალაში ფორების სახეობათა რაოდენობა, %		
	ჭეშმარიტი (γ)	მოჩვენებითი (ρ)	ჭეშმარიტი (სრული) P_3	ღია (მოჩვენებითი), P_e	დახურული P_c
საწყისი ნედლეული (ყვარლის ფიქალი)	2,69	2,45	7,5	5,3	2,2
აფუებული მასალა (კერამზიტი)	2,53	0,52	78,8	9,5	69,3

მე-4 ცხრილში წარმოდგენილი შედეგებიდან გამომდინარე, კერამზიტის სრული ფორიანობა თითქმის 10-ჯერ აღემატება საწყისი ნედლეულის – ფიქლის ფორიანობას (P_3 -ს სიდიდეები, შესაბამისად 78,8 და 7,5%). სრული ანუ ჭეშმარიტი ფორიანობის შემადგენელი ფორების ორი სახეობიდან დისპროპორცია დახურულ ფორიანობაზე მოდის და ფარდობა საწყის და აფუებულ მასალათა P_c სიდიდეთა შორის (69,3/2,2) 30-ს აღემატება.

ექსპერიმენტის შედეგების შედარებამ 1-ელ ცხრილში მოყვანილი მასალების ფორიანობის მნიშვნელობებთან, საშუალება მოგვცა გამოგვეთქვა მოსაზრება, რომ მიღებული მასალა უჯრედოვანი აღნაგობისაა. ამავე დროს, ფორების სიდიდით ის უმნიშვნელოდ ჩამორჩება ისეთ ფორებიან „კლასიკურ“ მასალას, როგორცაა ქაფმინა, რომლის სრული ფორიანობა 85-90%-ს შეადგენს,

როდესაც აფუებული ყვარლის ფიქლისთვის ის მხოლოდ 80%-ს მიახლოებულია.

3. დასკვნა

ყვარლის ფიქლის აფუებით ($1200 \pm 25^\circ\text{C}$) მიღებული მასალისათვის (კერამზიტი) განისაზღვრა ჭეშმარიტი ($\gamma=2,53$ გ/სმ³) და მოჩვენებითი ($\rho=0,52$ გ/სმ³) სიმკვრივეთა მნიშვნელობები.

დადგინდა, რომ ყვარლის ფიქლიდან მიღებულ კერამზიტს აქვს დაახლოებით 80%-იანი ჭეშმარიტი (სრული) ფორიანობა. აფუებულ მასალაში სტრუქტურული მოწყობის განმსაზღვრელი – დახურული ფორების რაოდენობა დაახლოებით 70%-ს შეადგენს, როდესაც ღია ფორებზე 10%-ზე ნაკლები მოდის. აქედან, ბუნებრივი ყვარლის ფიქლის თერმული აფუებით მიღებული კერამზიტი გამოირჩევა მაღალი ფორიანობით, რაც განაპირობებს მისი საექსპლუატაციო თვისებების მაღალ დონეს და პრაქტიკული გამოყენების პერსპექტიულობას.

ლიტერატურა

1. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий. М.: Высш. шк., 1989, 384с.
2. Мирианашвили А.Д., Койвунен Л.Т., Схвитаридзе Р.Е., Николеишвили Т.Г., Рухадзе Д.Р., Сарухანიшвили А.В., Чеишвили Т.Ш. Физико-химическое исследование кварельского сланца с целью широкого применения в силикатной промышленности. Керамика, 2 (6), 2001, с. 17-20.
3. <http://www.nature.com/subjects/porous-materials>. Пористые материалы.
4. <https://ru.wikipedia.org/wiki>. Википедия.
5. ГОСТ 2211-65, ГОСТ 2211-20 (ISO 5018-83). Internet.low.ru/gosts/435181/.
6. Горлов Ю.П. Лабораторный практикум по технологии теплоизоляционных материалов. М., Высш. шк., 1982, 400 с.

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ხელშეწყობით და დაფინანსებით (საგრანტო ხელშეკრულება AR-18-343).

UDC 666.563

ESTABLISHMENT OF PORE TYPES IN THE POROUS STRUCTURE OF EXPANDED KVARELI CLAY-SLATE

T. Cheishvili¹, R. Skhvitaridze¹, M. Abazadze², M. Turdzeladze², G. Loladze¹

¹ Georgian Technical University, Department of Chemical and Biological Technologies, Str Costava 69. 0160 Tbilisi. Georgia

² Levan Samkharauli National Forensics Bureau, Kiriak Zavriev Department of Conctruction mechanics, Seismic stability and Forensics Engineering, Str N. Bokhua 23. 0159 Tbilisi. Georgia

E-mail: t.cheishvili@gtu.ge

Resume: Goal. The research goal is to establish number and types of pores of porous material (keramzit) obtained from natural and artificial expanded Kvareli slate.

Method. Real densities and open porosity has been determined for natural and artificially expanded slate samples, and pore types and number in expanded materials has been established on this basis.

Results. The dependence of open porosity values of initial natural and thermally expanded clay-slates on their grain sizes and number of pore types in materials under study has been established.

Conclusion. Averaged values of true and apparent densities have been determined for natural Kvareli slate, and keramzit obtained through its high-temperature expansion. It was established, that the expanded Kvareli slate is characterized by 80% porosity, while the ratio of closed and open pores is approximately presented in 7:1 proportion.

Key words: slate; expansion; keramzit; density; porosity.

შ ი ნ ა ა რ ს ი

გ. გალოგრე. სასმელი წყლის გაწმენდა Mn^{2+} და რკინის იონებისაგან წყლის აერაციის პირობებში.....	3
მ. დონაძე, მ. მშვილდაძე, შ. ზურაბიშვილი, ნ. მახალდიანი, ვ. თედიაშვილი. კოროზიამდეგი კომპოზიციური დანაფარის ($NiPAI_2O_3$) ელექტროქიმიური სინთეზი	7
თ. ლეჟავა, გ. წურწუმია, ჯ. შენგელია, ნ. ქოიავა, ვ. ჩაგელიშვილი, დ. გოგოლი, გ. გორელიშვილი, ლ. ბერიაშვილი. ჭიათურის სამთო-მამდიდრებელი წარმოების ნარჩენების ფიზიკურ-ქიმიური კვლევა	23
ზ. მესტირიშვილი, დ. გვენცაძე, ვ. კვაჭაძე, ა. მიქელაძე, ირ. ბაირამაშვილი, ზ. კოვზირიძე. $^{11}B_4C$ და $^{11}B_4C-Zr^{11}B_2$ თვითშემზეთი კერამიკული მასალები ბირთვული რეაქტორის მშრალი ხახუნის კვანძებისთვის	42
ც. ფანჩვიძე-წიგნაძე, მ. ცინცაძე, ნ. იმნაძე, ფ. ჩირაგვი. ცირკონიუმის (IV) 2,3,4-ტრიჰიდროქსიფენილ-აზო-5'-სულფონაფთალინთან კომპლექსწარმოქმნის შესწავლა მესამე კომპონენტის თანაობისას	54
ე. შაფაქიძე, ლ. გაბუნია, ი. ქამუშაძე, ი. გეჯაძე, თ. პეტრიაშვილი. ფორიანი თბოსაიზოლაციო მასალების მიღება ადგილობრივი ნედლეულის გამოყენებით.....	61
ე. შაფაქიძე, ი. ქამუშაძე, ლ. გაბუნია, ი. გეჯაძე, რ. სხვიტარიძე, თ. ჭეიშვილი, თ. პეტრიაშვილი, მ. მაქაძე, ნ. გაგნიაშვილი. სამშენებლო კერამიკული ნაკეთობების მიღება თიხაფიქლების საფუძველზე	69
ჯ. შენგელია, გ. გალოგრე. სასმელი წყლის გაწმენდისათვის მაღალი ქიმიური მდგრადობის მანგანუმის დიოქსიდით მოდიფიცირებული ცეოლიტის მიღება და გამოცდა.....	82
თ. წივწივაძე, ნ. ჩიგოგიძე, ვ. წივწივაძე, ნ. ბრეგაძე, ი. დიდბარიძე. მცენარეული წარმოშობის ბიოლოგიურად აქტიურ ნივთიერებათა როლი და დანიშნულება კიბოს საწინააღმდეგო კვების პროდუქტებში.....	94
თ. ჭეიშვილი, რ. სხვიტარიძე, მ. აბაზაძე, მ. ტურმელაძე, გ. ლოლაძე. აფუებული ყვარლის თიხაფიქლის ფოროვან სტრუქტურაში ფორების სახეობათა დადგენა	99

CONTENTS

G. Galogre. REMOVING MN^{2+} AND IRON IONS FROM DRINKING WATER BY WATER AERATION.....	3
M. Donadze, M. Mshvildadze, Sh. Zurabishvili, N. Makhaldiani, V. Tediashvili. ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS OF CORROSION-RESISTANCE COMPOSITE COATING ($NiPA_2O_3$)	7
T. Lezhava, G. Tsurtsumia, J. Shengelia, N. Koiava, V. Chagelishvili, D. Gogoli, G. Gorelishvili, L. Beriashvili. PHYSICO-CHEMICAL STUDY OF INDUSTRIAL WASTES OF CHIATURA MINING-ENRICHMENT ENTERPRISE	23
Z. Mestvirishvili, D. Gventsadze, V. Kvatchadze, A. Mikeladze, Ir. Bairamashvili Z. Kovziridze. $^{11}B_4C$ AND $^{11}B_4C-ZR^{11}B_2$ SELF-LUBRICATING CERAMICS FOR DRY FRICTION KNOTS OF NUCLEAR REACTOR	42
TS. Panchvidze-Tsignadze, M.Tintsadze, N.imnadze, F.Chiragov. COMPLEXOFORMATION AND SPECTROPHOTOMETRIC STUDYOF ZIRKONIUM (IV) WITH 2,3,4-TRIHYDROXYPHENYL-AZO-5'-SULFONAPHTHALENE IN THE PRESENCE OF THIRD COMPONENTS	54
E. Shapakidze, L. Gabunia, I. Kamushadze, I. Gejadze, T. Petriashvili. PRODUCTION OF POROUS THERMAL INSULATION MATERIALS USING LOCAL RAW MATERIALS	61
E. Shapakidze, I. Kamushadze, L. Gabunia, I. Gejadze, R. Skhvitardze, T. Cheishvili, T. Petriashvili, M. Makadze, N. Gagnishvili. OBTAINING BUILDING CERAMIC PRODUCTS BASED ON CLAY SHALE	69
J. Shengelia, G. Galogre. OBTAINING AND TESTING OF MANGANESE DIOXIDE-MODIFIED ZEOLITE WITH HIGH CHEMICAL RESISTANCE FOR DRINKING WATER PURIFICATION	82
T. Tsivtsivadze, N. Chigogidze, V. Tsivtsivadze, N. Bregadze, I. Didbaridze. THE ROLE AND PURPOSE OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES OF PLANT ORIGIN IN ANTICANCER FOODS	94
T. Cheishvili, R. Skhvitardze, M. Abazadze, M. Turdzeladze, G. Loladze. ESTABLISHMENT OF PORE TYPES IN THE POROUS STRUCTURE OF EXPANDED KVARELI CLAY-SLATE	99

kompiuterul i uzrunvel yofa x. ungi aZi s
redaqtori m. kal andaZe

saqarTvel os keramikosTa asociacia 2007 wl idan gawevrianda keramikosTa msfli o federaciaSi

saqarTvel os keramikosTa asociacia 2002 wl idan evropis keramikosTa asociaciis wevria

saqarTvel os keramikosTa asociacia daarsda 1998 wel s
Jurnal i daarsda 1998 wel s

Jurnal Si statiebi ibeWdeba qarTul , ingl isur, germanul da rusul enebze

*gamoqveynebul i masal is avtorebi pasuxismgebel ni arian moyvanil i faqtebis, ci-
tatebis da sxva monacemebis SerCevasa da sizusteze, aseve Ria publ ikaciaSi kanoniT
akrZal ul i monacemis gaxmaurebaze.*

*redaqcias SeuZl ia gamoaqveynos masal ebi ise, rom ar iziarebdes avtoris Sexedu-
l ebebs.*

*Авторы публикуемых материалов несут ответственность за подбор и точность приведенных
фактов, цитат и других сведений, а также за неразглашение сведений, запрещенных
законом к открытой публикации.*

Редакция может публиковать материалы, не разделяя точку зрения автора.

*Authors of the published materials are responsible for choice and accuracy of adduced facts,
quotations and other information, also for not divulging information forbidden open publication.*

Publishing material the editorial board may not share the views of the author.

Tbilisi, `keramika~, Vol. 23. 2(46). 2021
masal is gadabeWvdvisas Jurnal is miTiTeba aucil ebel ia
ТБИЛИСИ, "КЕРАМИКА", Vol. 23. 2(46). 2021
При перепечатке ссылка на журнал обязательна
TBILISI,"CERAMICS", Vol. 23. 2(46). 2021
Reference of magazine is obligatory on reprinting

pirobiTi nabeWdi Tabaxi 7. tiraJi 50 egz., fasi saxel Sekrul ebo.

saqarTvel os keramikosTa asociacia, Tbilisi, kostavas 69, tel : 233-53-48, Sida 62-39,
E-mail: kowsiri@gtu.ge, z. kovzirize

<http://www.ceramics.gtu.ge>
