

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ბელა ხუციშვილი

საქართველოს ბუნებრივი ფილიპსიტის საფუძველზე
მაღალეფექტური ბაქტერიციდული სორბენტების შექმნა და
თვისებების კვლევა

დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად წარდგენილი
დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა- ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერია

შიფრი - 0410

თბილისი

2021 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტზე ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტში;

ივ.ჯავახიშვილის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის პეტრე მელიქიშვილის ფიზიკური და ორგანული ქიმიის ინსტიტუტის, ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების კვლევის ლაბორატორიაში.

ხელმძღვანელები: პროფესორი ნაზიბროლა კუციავა
პროფესორი ნანული დოლაბერიძე

რეცენზენტები: _____

დაცვა შედგება ___“_____“___ წლის _____ საათზე

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

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატისა- ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

შესავალი

თემის აქტუალობა. სადღეისოდ ერთ–ერთ აქტუალურ სამეცნიერო პრობლემას სამედიცინო დანიშნულების სორბენტების შექმნა და გამოყენება წარმოადგენს.

უნიკალური ფიზიკურ–ქიმიური თვისებების მქონე ცეოლითები ერთ–ერთ მეტად საინტერესო არაორგანულ ნივთიერებათაგანია, რომელთაც გააჩნიათ პოტენციალი მათ საფუძველზე მომზადდეს მიზანდასახული მიმართულების სამედიცინო დანიშნულების სორბენტები. პროლონგირებული ქმედების აღნიშნული მასალები წარმოადგენენ დიდ ინტერესს თანამედროვე ფარმაციისთვისაც, რამდენადაც ანხორციელებენ ცოცხალი ორგანიზმის რეალური მოთხოვნილების შესაბამისად აქტიური სამკურნალო პრეპარატების გამონთავისუფლების ან მიწოდების კონტროლს. ორგანიზმში აღნიშნული სორბენტების მუდმივი კონცენტრაციის უზრუნველყოფა კი თერაპიის ეფექტურად განხორციელების და პარალელურად მათ, კუჭ–ნაწლავის ტრაქტზე გამაღიზიანებელი მოქმედების და სხვა გვერდითი მოვლენების შემცირების შესაძლებლობას იძლევა.

ლითონშემცველი ცეოლითური (ლც) ადსორბენტები და იონმიომცვლელები წარმოადგენენ პერსპექტიულ მასალებს, როგორც სამედიცინო ისე გარემოს დაცვით ღონისძიებებში გამოყენების თვალსაზრისით, კერძოდ სხვადასხვა ბუნების წყლების გაწმენდა–გაუვნებელყოფისათვის; ისინი ამ შემთხვევაში ამცირებენ დამაბინძურებელი ნივთიერებების კონცენტრაციას წყლის არეში და ამავდროულად აქვთ ბაქტერიციდული თვისებები. სამედიცინო გამოყენებასთან ერთად ბიოაქტიურლითონშემცველი სორბენტების გამოყენება აქტუალურია ნიადაგების დამაბინძურებელი მძიმე ლითონებისაგან გასაუვნებელყოფლად. ბაქტერიციდული ცეოლითური სორბენტების გამოყენება განპირობებულია ცეოლითის სორბციულ–

დექტოქსიკაციური და ლითონის ანტიბაქტერიული თვისებების შერწყმული მოქმედებით.

დაწყებულია და დღემდე მიმდინარეობს კვლევები, რომლებიც აჩვენებს, რომ ბუნებრივი და სინთეზური ცეოლითები გამდიდრებული სპილენძის, ვერცხლის და თუთიის ან სხვა რომელიმე გარდამავალი ლითონის იონებით ავლენენ ანტიმიკრობულ აქტივობას ბევრ მიკროორგანიზმთან მიმართებაში.

დღეისათვის დიდი ყურადღება ექცევა ისეთი ბაქტერიციდული სორბენტების მიღების რენტაბელური მეთოდების შემუშავებას, რომელიც უზრუნველყოფს პროლონგირებული ქმედების მაღალი ადსორბციული ტევადობის და ბაქტერიციდული თვისებებით აღჭურვილი სორბენტების მიღებას იაფი, ადვილადხელმისაწვდომი ნედლეულის ბაზაზე. ბუნებრივი ცეოლითების გამოყენება აქტუალურია, როგორც მათი ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების ცოდნის, ისე ეკონომიური და ეკოლოგიური თვალსაზრისითაც. **კვლევის ამოცანები:** წვრილდისპერსული ცეოლითური მასალების მიღება ბუნებრივი ანალციმის გადაკრისტალებით ჰიდროთერმულ პირობებში.

შერჩეული სორბენტების - ბუნებრივი ფილიპსიტის, ანალციმის და სინთეზური NaA ტიპის ცეოლითის დამუშავება ბიოაქტიური ლითონების შემცველი მარილებით, იონმიმოცვლის მშრალი, მყარფაზური მეთოდით.

საკვლევ ნიმუშებზე, ბაქტერიციდული თვისებების მიმნიჭებელი ლითონის (Ag, Cu, Zn) კატიონების იონმიმოცვლის პროცესის შესწავლა.

შუალედური და მიზნობრივი პროდუქტების დახასიათება თანამედროვე, ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდებით.

მიღებული ცეოლითური სორბენტების ბაქტერიოსტატიკური და ბაქტერიციდული აქტივობის დადგენა რიგი მიკროორგანიზმების მიმართ.

ბაქტერიციდული ცეოლითური სორბენტების მომზადება გამსხვილებული პარტიით.

სამუშაოს მიზანი. ბაქტერიციდული ცეოლითური სორბენტების მისაღებად საქართველოს იაფი, ადვილადხელმისაწვდომი, ბუნებრივი მინერალური

ნედლეულის შერჩევა. მათ საფუძველზე წვრილდისპერსული მაღალსორბციულ-დეტოქსიკაციური ლითონშემცველი ბაქტერიციდული ცეოლითური სორბენტების მიღების მეთოდის დახვეწა – მეცნიერული განვითარება, ფიზიკურ-ქიმიური და ბაქტერიციდული თვისებების კვლევა.

კვლევის ობიექტები და მეთოდები. საკვლევ ნიმუშებად შერჩეული იყო ბუნებრივი ცეოლითები ფილიპსიტ- და ანალციმ- შემცველი ქანები საქართველოს სხვადასხვა საბადოს ცნობილი უბნებიდან: ფილიპსიტშემცველი ქანი, გურიის რეგიონის, შუხუთის უბნიდან- PSH; ფილიპსიტშემცველი ქანი, ახალციხის რეგიონის, წინაუბნიდან - PA; ანალციმშემცველი ქანი, ქუთაისის რეგიონის, გელათის უბნიდან - AG; და ანალციმშემცველი ქანის გადაკრისტალების შედეგად მიღებული სინთეზური ცეოლითი NaA.

სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოს შესასრულებლად გამოყენებული იყო შემდეგი მეთოდები და ხელსაწყოები:

- ნიმუშების ტექნიკური მომზადება- სტანდარტული სამსხვრეველა; საცრების ნაკრები; ულტრა პლანეტარული მიკროწისქვილი (Planetary micro mill Pulverisette 7premium line); ფოტონ-კორელაციური ნაწილაკების ზომის ანალიზატორი Winner 802 DLS;

მოდიფიცირებული ნიმუშების ქიმიური შედგენილობის განსაზღვრა:

- ელემენტური ანალიზი (ატომურ-აბსორბციული სპექტრომეტრი 300, Perkin-Elmer, დიდი ბრიტანეთი) და ენერგოდისპერსული (EDS) სპექტროსკოპიული ანალიზი;
- სტრუქტურის იდენტიფიცირება - მოდერნიზებული რენტგენის დიფრაქტომეტრი “Dron-4” (რუსეთი) და ინფრაწითელი ფურიე-გარდაქმნის სპექტრომეტრი Agilent Cary 630 FTIR;
- ნიმუშების ზედაპირის მორფოლოგიის კვლევა- მასკანირებელი ელექტრონული მიკროსკოპი JSM6510LV (Jeol, Japan), რომელიც აღჭურვილია X-Max 20 ანალიზატორით (Oxford-Instruments, UK), ЭР-

1სპექტრებისათვის;

- ნიმუშების ხვედრითი ზედაპირის განსაზღვრა- ფიზიკური ადსორბციის ანალიზატორი ASAP 2020 Plus (Micromeritics, USA);
- წყლის ორთქლის ადსორბციისუნარიანობის გაზომვა სტატიკურ პირობებში- ექსიკატორული მეთოდით, ოთახის ტემპერატურაზე $P/P_s=0,40$ და $P/P_s=1$;
- ბაქტერიოსტატიკური აქტივობის ტესტირება კირბი-ბაუერის, დისკ-დიფუზიური მეთოდით.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და სიახლე.

- დახვეწილი და მოწოდებულია სწრაფი, ეკოლოგიური და რენტაბელური იონმიმოცვლის, მყარფაზური მეთოდი, იგი არსებულისაგან განსხვავებით, მოკლე დროში საწყისი ნივთიერებების (ცეოლითი, მარილი) ერთჯერადი ურთიერთქმედებით, მაღალსორბციულ-დეტოქსიკაციური ბაქტერიციდული სორბენტების მიღებას განაპირობებს;
- პირველად, ქართული ბუნებრივი ანალციმის გადაკრისტალებით მიღებულია. ძვირადღირებული A ტიპის ცეოლითის ალტერნატიული, წვრილდისპერსული ცეოლითური სორბენტი NaA, მიკრომეტრული (3–5მკმ) ზომის, რომბული და კუბური კრისტალების სახით, Si/Al=1, და მაღალი იონმიმოცვლითი ტევადობით (4,53 მექვ/გ). სინთეზური NaA კვლევაში ჩართულია როგორც ეტალონი ბუნებრივ ფილიპსიტთან და მის ბაქტერიოსტატიკურ აქტივობასთან შესადარებლად;
- პირველად ჩვენს მიერ მოწოდებული მყარფაზური იონმიმოცვლითი რეაქციებით – ქართულ ბუნებრივ ფილიპსიტს, ანალციმს, ასევე ანალციმის გადაკრისტალებით მიღებულ NaA ტიპის ცეოლითსა და შესაბამისი გარდამავალი ლითონების მარილებს შორის – მიღებულია ნიმუშები ვერცხლის, სპილენძის, თუთიის მაღალი შემცველობით;
- დადგენილია, რომ ვერცხლის, სპილენძის და თუთიის ჰიდრატირებული იონების ჩართვა ცეოლითის კრისტალურ

სტრუქტურაში განისაზღვრება ერთის მხრივ გამოყენებული ცეოლითის მიკროფორების არხების შეღწევადობით და მეორეს მხრივ ჰიდრატირებული იონების ზომებით. გამოკვლეული ნიმუშები ავლენენ ბაქტერიოსტატიკურ აქტივობას კირბი-ბაუერის, დისკ-დიფუზიურ, ტესტში, რაც ადასტურებს თვითონ ლითონშემცველი ცეოლითური სორბენტის და არა მხოლოდ ბიოაქტიური ლითონების იონების აქტივობას;

- ნაჩვენებია, რომ უფრო მეტად აქტიურია ვერცხლისშემცველი ფილიპსიტი AgPSH, მაგრამ „იაფი“ ლითონების სპილენძისა და თუთიის შემცველი ბუნებრივი ფილიპსიტი ფლობს საკმაოდ მაღალ ბაქტერიციდულ აქტივობას და უფრო პერსპექტიულია სამედიცინო დანიშნულებით და სხვა მიზნებისათვის გამოსაყენებლად.

შედეგების გამოყენების სფერო. ლითონშემცველი ცეოლითური ადსორბენტები და იონმიმომცვლელები წარმოადგენენ პერსპექტიულ მასალებს, როგორც მედიცინასა და ფარმაციაში, ისე გარემოს დაცვით ღონიძიებებში შემავსებლების, მფილტრავი მასალებისა და სადეზინფექციო საშუალებების სახით გამოსაყენებლად.

დიდია ინტერესი, შპს „ქალაღი“-ის წარმოების მიერ ჩვენს მიერ მომზადებულ ბაქტერიციდულ ცეოლითურ შემავსებლებზე, მათი გამოყენებით წარმოების პრობებში მიღებულია გაუმჯობესებული მექანიკური თვისებებისა და ბაქტერიოსტატიკური აქტივობის ქალაღის პროტოტიპები. ქალაღის წარმოებისთვის, ჩვენს მიერ შემუშავებული, ბაქტერიციდული ცეოლითური შემავსებლების მომზადების ტექნოლოგიის გადაცემის შემთხვევაში, ქალაღის მასაში შემავსებლის შეყვანის ტექნოლოგია და ქალაღი/მუყაოს წარმოება, ერთობლივად იქნება დამუშავებული.

ცნობები დისერტაციის მოცულობისა და სტრუქტურის შესახებ. დისერტაცია შედგება შესავლის, 2 თავის, დასკვნების და ციტირებული ლიტერატურის ნუსხიხაგან. ნაშრომი წარმოდგენილია 138 ნაბეჭდ გვერდზე,

ილუსტრირებულია - 21 ნახაზი და 29 ცხრილით. ბიბლიოგრაფია მოიცავს 134 წყაროს.

ნაშრომის აპრობაცია. სამუშაოს ძირითადი შედეგები მოხსენებულია შემდეგ სამეცნიერო კონფერენციებზე:

1. XII Международная научная конференция „Актуальные проблемы химии“, 3-4 мая 2018, Баку, Азербайджан;
2. საერთაშორისო სამეცნიერო-მეთოდური კონფერენცია „ქიმია - მიღწევები და პერსპექტივები“, 19-20 ოქტომბერი 2018, თბილისი, საქართველო;
3. IV Scientific Conference “Natural and synthetic biologically active substances”, 22-23 october 2018, Tbilisi, Georgia;
4. International Scientific and Practical Conference "Environmental Protection and Sustainable Technologies", 11-12 november 2019, Tbilisi, Georgia;
5. 2nd International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences, (EurasianBioChem 2019), 28-29 June 2019, Ankara, Turkey;
6. First International Scientific and Practical Conference "New Innovations", 14-15 november 2019, Kutaisi, Georgia;
7. 6th International Caucasian Symposium on Polymers and Advanced Materials, 17-20 July 2019, Batumi, Georgia;
8. 22nd International Conference “Materials, Methods & Technologies”, 29August-1September 2020, Burgas, Bulgaria;
9. VIII International Conference "The chemistry of Coordination Compounds" dedicated to the 85th anniversary of the Department of Analytical Chemistry of the Faculty of Chemistry of Baku State University, 22-23 december 2020, Baku, Azerbaijan;
10. II International Scientific-Practical Internet-Conference “Modern Pharmacy-Science and Practice”, 01-21december 2020, Kutaisi, Georgia;
11. II International Scientific-Practical Conference "Recent Scientific Investigation", 11-12 June 2021, Oslo, Norway.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები თავების მიხედვით და ზოგადი დასკვნები. შესავალში დასაბუთებულია სამუშაოს აქტუალობა, დასახულია

კვლევის მიზანი და ამოცანები, ჩამოყალიბებულია ძირითადი შედეგები და სიახლე.

პირველი თავი მოიცავს ლიტერატურის მიმოხილვას, რომელშიაც დახასიათებულია ბუნებრივი ცეოლიტები; ზოგადად განხილულია მათი თვისებები, მათ შორის ბაქტერიციდული და ძირითადად მედიცინაში გამოყენების სფეროები. მეორე თავში აღწერილია კვლევის ობიექტები და მეთოდები. ექსპერიმენტისთვის შერჩევის მიზნით, დახასიათებულია საქართველოს ადგილმდებარეობის ახალციხის წინაუბნისა - PA და გურიის რეგიონის სოფელ შუხუთის - PSH ფილიპსიტები. მეორე თავი მოიცავს PSH-ის ფიზიკურ-ქიმიური და ბაქტერიციდული თვისებების კვლევას; განხილულია სამედიცინო დანიშნულების სინთეზური ცეოლითური სორბენტის ჰიდროთერმული კრისტალიზაციის მეთოდით მიღებისა და მისი ლითონშემცველი ცეოლითური სორბენტების ფიზიკურ-ქიმიური და ბაქტერიოსტატიკური აქტივობის შედეგები; აღწერილია ჩვენს მიერ ქაღალდის წარმოებისთვის გადასაცემად ბაქტერიციდული სორბენტების, როგორც შემავსებლების გამსხვილებული პარტიის მიღება, მოტანილია გამოსაცდელი ნიმუშების ბაქტერიოსტატიკური აქტივობის დამადასტურებელი მონაცემები და პრაქტიკული გამოყენების შესაძლებლობები.

შინაარსი

ლიტერატურის მიმოხილვაში დახასიათებულია ბუნებრივი ცეოლითები; ზოგადად განხილულია მათი თვისებები, მათ შორის ბაქტერიციდული და ძირითადად მედიცინაში გამოყენების სფეროები.

სამუშაოს მიზანს შეადგენდა, სწრაფი, ეკოლოგიური, მყარფაზური მეთოდის შემუშავება, მაღალსორბციულ-დეტოქსიკაციური ლითონშემცველი ცეოლითური სორბენტების შექმნა და თვისებების კვლევა.

კვლევაში გამოსაყენებლად ბუნებრივი ფილიპსიტის შერჩევის მიზნით დახასიათებულია ბუნებრივი ფილიპსიტ-შემცველი ქანები გურიის რეგიონის შუხუთის უბნიდან - PSH და ახალციხის რეგიონის წინაუბნიდან - PA. კატიონური მოდიფიცირებისას ცეოლითების საწყისი ფორმები ექვემდებარებოდა მარილების გამოყენებას, როგორც წყალხსნარების ისე მშრალი სახით. ფილიპსიტის მიმართ ინტერესის ზრდა ძირითადად დაკავშირებულია მის მიერ ბაქტერიციდული კატიონებისადმი (Ag^+ , Cu^{2+} , Zn^{2+}) სელექტიურობასთან, მაღალ ადსორბციის უნარიანობასა და იონმიმოცვლის ტევადობასთან. ჯერ-ჯერობით, ბაქტერიციდული სორბენტები, ფილიპსიტის საფუძველზე, მიღებული არ არის, და თავისთავად, შესწავლილი არ არის მათი სრული ფიზიკურ-ქიმიური და მით უფრო ბაქტერიციდული თვისებები.

ჩატარებული კვლევის საფუძველზე დადგენილია, რომ შესწავლილ ბუნებრივ ცეოლითებს აქვთ – ფილიპსიტის ტიპის ცეოლითის კრისტალური სტრუქტურა, დადასტურებული რენტგენოგრამებით და ფურიე გარდაქმნის იწ სპექტრებით. ქიმიური ანალიზის შედეგები აჩვენებს მსგავსებას სილიკატური მოდულის მნიშვნელობებს შორის ($Si/Al=2.74$ PA; 2.62 PSH). და განსხვავებას კატიონურ შედგენილობაში (ნატრიუმის და კალციუმის სიჭარბე PA-ში, კალიუმის PSH-ში) რაც იწვევს განსხვავებებს იონმიმოცვლის მახასიათებლებში. გარდა ამისა, ნიმუშები განსხვავდება კრისტალიტების მორფოლოგიით მეზოფორების სისტემაში. საქართველოს

ფილიპსიტების შესწავლის საფუძველზე, რომლის მიხედვითაც მოცემულია დეტალური მონაცემები მათი სტრუქტურის, შედგენილობისა და თვისებების შესახებ, შეიძლება დავასკვნათ, რომ ბაქტერიციდული სორბენტების მისაღებად უპირატესად გამოყენებული იქნას PSH.

ბუნებრივი ფილიპსიტის ანტიბაქტერიული ლითონშემცველი მოდიფიკაციების მიღება და კვლევა

ლითონშემცველი ცეოლიტების მომზადება იონმიმოცვლის მყარფაზური მეთოდით ჩატარდა ქართული ფილიპსიტშემცველი ტუფის – PSH-ის გამოყენებით.

იონმიმოცვლის პროცესი მიმდინარეობდა მყარი სხეულების (ცეოლიტი-მარილი) ურთიერთქმედებისას, რეაქციით $(Me^+Me^{2+})Z^+Me^{n+} \leftrightarrow Z^+Me^+Me^{2+}$.

ფილიპსიტის ვერცხლის, სპილენძის და თუთიის კატიონებით მოდიფიცირება განსხვავებით იონმიმოცვლის ჰიდროთერმული მეთოდისგან (რომელიც ითვალისწინებს მყარი ფაზის მრავალჯერად, ხანგრძლივ დამუშავებას, სისტემის გაცხელებას) მიმდინარეობს მყარფაზური მეთოდით შემდეგნაირად : 10გ საწყისი ფილიპსიტი, ნაწილაკის ზომით $\approx 63\mu$ (240 მეში), და ჩამნაცვლებელი კატიონის მარილის გამოთვლილი რაოდენობა, ერევა ერთმანეთს აგატის ქვიჯაში, 5-10წთ-ის განმავლობაში, კატიონური ფორმისგან დამოკიდებულებით. შემდეგ ნარევი გადაიტანება ფილტრზე და ირეცხება დისტილირებული წყლით ჭარბი მარილის არყოფნამდე, შრება ჯერ ჰაერზე, შემდეგ თერმოსტატში 100-105°C-ზე. ამასთან ერთად საჭიროა ცეოლიტისა და მარილის ისეთი წონითი თანაფარდობის აღება, რომელიც საშუალებას იძლევა მათი ერთჯერადი ურთიერთქმედებისას მიღებული იქნას ცეოლიტის სასურველი იონური ფორმა, დასახული ჩანაცვლების ხარისხით. იონმიმოცვლა მიმდინარეობს

ოთახის ტემპერატურაზე, უმეტეს შემთხვევაში მთავრდება უმოკლეს დროში (რამდენიმე წუთის განმავლობაში).

ცეოლითისა და იონმიმომცვლელი კატიონის მარილის მყარფაზური მეთოდით იონმიმომცვლასთან დაკავშირებით რეაქციის ხელისშემწყობი ფაქტორებია: რეაგენტების დაწვრილმანება, ინტენსიური მორევა, რეაგენტების საჭირო თანაფარდობის შერჩევა (ცეოლითი, მარილი), ტენის თანაყოფნა -გარეცხვა დისტილირებული წყლით, გამოშრობა.

დაწვრილმანების ხარისხის გაზრდა იწვევს მყარი რეაგენტების ზედაპირის ზრდას და შესაბამისად რეაქციის სიჩქარის მატებას.

ბიოაქტიური ლითონების მაქსიმალურშემცველი ცეოლითური სორბენტების მიღების პროცესის კვლევა

რენტგენულ-დიფრაქტომეტრული ანალიზით დადასტურებულია, რომ მიღებული, ფილიპსიტის კატიონმოდულირებული ფორმების AgPSH, CuPSH და ZnPSH სტრუქტურა არის შენარჩუნებული.

ქიმიური ანალიზის შედეგად დადგენილია ბუნებრივი ნედლეულისა და მომზადებული ნიმუშების ქიმიური შედგენილობა (ცხრილი 1).

ცხრილი 1. ბუნებრივი და მოდიფიცირებული ფილიპსიტების ქიმიური შედგენილობა

ცეოლითი	ელემენტარული უჯრედი
PSH	(Na _{0,72} K _{4,24} Ca _{1,52} Mg _{0,80})[Al _{9,55} Si _{22,45} O ₆₄] 22,48H ₂ O
AgPSH	(Ag _{9,10} Na _{0,02} K _{0,12} Ca _{0,10} Mg _{0,01})[Al _{9,45} Si _{22,40} O ₆₄]22,28H ₂ O
ZnPSH	(Zn _{8,6} Na _{0,01} K _{0,08} Ca _{0,15} Mg _{0,25} [Al _{9,55} Si _{22,45} O ₆₄].22,35H ₂ O
CuPSH	(Cu _{8,1} Na _{0,01} K _{0,02} Ca _{0,13} Mg _{0,20})[Al _{9,15} Si _{22,35} O ₆₄] 22.35 H ₂ O

ქიმიური ანალიზის საფუძველზე შედგენილი ცხრილებიდან (ცხრილი 2, 3) ჩანს, რომ ცეოლითისა და მარილს შორის თანაფარდობების ცვლილება იწვევს ფილიპსიტის სტრუქტურაში ვერცხლის იონების ჩანაცვლების ხარისხის უმნიშვნელო ზრდას. ცეოლითისა და მარილის ტოლი წონითი თანაფარდობების (1:1) შემთხვევაში მიიღება ფილიპსიტის ვერცხლის

ფორმა AgPSH - ოპტიმალური (94,25%) ჩანაცვლების ხარისხით, 5წთ-ის განმავლობაში. ანალოგიურია სურათი თუთიისა და სპილენძის სტრუქტურაში ჩანერგვისას.

ცხრილი 2. იონმიმოცვლითი სინთეზის მონაცემები Ag^+ , Cu^{2+} და Zn^{2+} -ით

მაქსიმალურ ჩანაცვლებულ ფილიპსიტებზე, 20°C-ზე

საკვლევი ნიმუში	იონმიმოცვლითი რეაქცია	წონითი თანაფარდობა, ცეოლითი: მარილი	მყარფაზური რეაქციის ხანგრძლივობა, წთ.	გარეცხვის ხანგრძლივობა, წთ.
AgPSH	PSH – $AgNO_3$	1:1 1:3 1:6	5 10 10	30
ZnPSH	PSH – $ZnCl_2$	1:1 1:3 1:6	5 10 15	40
CuPSH	PSH- $CuCl_2$	1:1 1:3 1:6	5 10 15	40

ცხრილი 3. ბუნებრივ ფილიპსიტში ვერცხლის, სპილენძისა და თუთიის დაგროვების დინამიკა

ცეოლითი	ვერცხლის შემცველობა, წონ.%	თუთიის შემცველობა წონ.%	სპილენძის შემცველობა წონ.%	ჩანაცვლების ხარისხი, %
AgPSH	37,50			94,25
	38,41			95,01
	38,60			95,25
ZnPSH		13,20		81,71
		14,12		89,45
		15,40		90,30
CuPSH			14,20	82,50
			15,00	90,00
			15,60	91,30

ცეოლითისა და მარილის თანაფარდობის შემდგომი ზრდა, ასევე ურთიერთქმედების შემდგომი გახანგრძლივება იწვევს ჩანაცვლების ხარისხის ზრდას შესაბამისად AgPSH, ZnPSH და CuPSH -თვის.

დადგენილია, რომ ფილიპსიტების Ag, Cu -და Zn-ფორმების სინთეზისათვის, მარილის რაოდენობა არ აღემატება არსებული „სველი“ მეთოდით მიღებისთვის საჭირო რაოდენობას.

დაგროვილი დიდი კლინიკური გამოცდილების საფუძველზე ცეოლითური სორბენტების გამოყენებისა მედიცინის სხვადასხვა დარგში, მეცნიერები მივიდნენ დასკვნამდე, რომ ადსორბციის მეთოდების გამოყენების გარეშე, არცერთნაირი დაავადების მკურნალობა არ შეიძლება, რამდენადაც ტოქსიკური ნივთიერებების გამოყვანის გარეშე მკურნალობის ყველა მეთოდი ან მცირედ ეფექტურია ან საერთოდ არაეფექტური. ცეოლითური სორბენტი ხასიათდება ფორების ზომებით, სადაც მიმდინარეობს ადსორბცია- კონცენტრირება ადსორბატის (ტოქსინის) ფორიან სტრუქტურაში და სორბენტის გარე გეომეტრიულ ზედაპირზე. პრაქტიკულად ყველა სორბენტი თავის ზედაპირზე ადსორბირებს ბაქტერიციდულ უჯრედებს და ტოქსინებს.

შესწავლილია, ბუნებრივი და ბაქტერიციდული სორბენტების (PSH, AgPSH, ZnPSH და CuPSH), წყლის ორთქლის ადსორბცია, სტატიკურ პირობებში, ექსიკატორული მეთოდით $P/P_s=0,4$ -ზე, ოთახის ტემპერატურაზე.

ფორების საერთო მოცულობა რომელიც მისაღწევია წყლის მოლეკულის ადსორბციისთვის მცირდება განსაკუთრებით ვერცხლისშემცველი ნიმუშისათვის AgPSH; ალბათ ცეოლითის სტრუქტურაში გარდამავალი ლითონების იონების შეყვანის გამო; ამ დროს ისინი ნაწილობრივ ინარჩუნებენ თავის ჰიდრატულ გარსს, ეფექტურად ამცირებენ რა თავისუფალი მიკროფორების მოცულობას (ცხრილი 4).

ცხრილი 4-ის მონაცემები ადასტურებს, რომ AgPSH, ZnPSH, CuPSH ხასიათდებიან საკმაოდ მაღალი ადსორბციისუნარიანობით, რაც შეიძლება აიხსნას პოლარული მოლეკულების ადვილად შეღწევით ცეოლითის მიკროფორებში და თუთიის, სპილენძის და ვერცხლის კატიონებზე იონ-დიპოლური ურთიერთქმედების საფუძველზე ადსორბირებით.

ცხრილი 4. წყლის ორთქლის ადსორბცია ბუნებრივ და მოდიფიცირებულ სორბენტებზე

ცეოლითი	ადსორბცია	
	მმოლი/გ	სმ ³ /გ
PSH	7,250,	0,131
AgPSH	5,54	0,100
ZnPSH	6,55	0,118
CuPSH	6.75	0,119

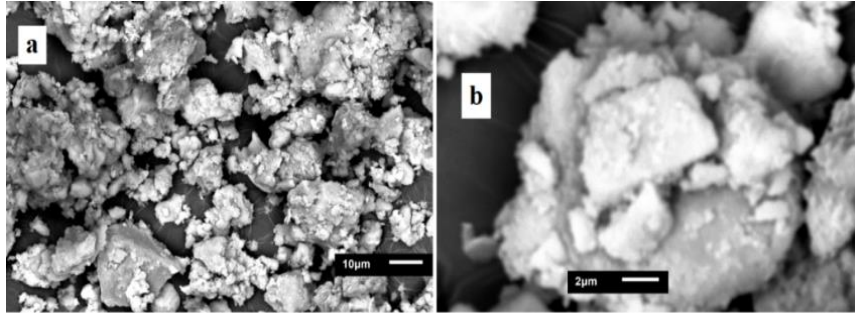
ბიოაქტიური ლითონშემცველი ცეოლითური სორბენტების დახასიათება

ბუნებრივი ფილიპსიტისა და მისი ვერცხლის, სპილენძის და თუთიის მაქსიმალური შემცველობის მოდიფიცირებული ფორმების ქიმიური შედგენილობა მოტანილია ცხრილში 5. ვერცხლის, სპილენძის, და თუთიის შეყვანა ფილიპსიტის სტრუქტურაში იწვევს ერთვალენტიანი იონების ნატრიუმისა და კალიუმის მაღალი ხარისხით ჩანაცვლებას.

ცხრილი 5. მოდიფიცირებული ფილიპსიტების ქიმიური შედგენილობა

ნიმუში	PSH	AgPSH	CuPSH	ZnPSH
a (1/2a for Cu and Zn)	0	0.76(4)	0.400(16)	0.41(15)
B	0.289(14)	0.0022(1)	0.0484(9)	0.0023(1)
C	0.444(24)	0.018(2)	0.0386(8)	0.077(5)
D	0.067(3)	0.056(3)	0.028(3)	0.017(2)
E	0.056(3)	0.045(3)	0.026(4)	0.028(4)
F	0.044(3)	0.013(1)	0.033(2)	0.011(1)
y/x=Si/Al	2.62(16)	2.52(15)	2.60(16)	2.64(16)
N	11.4(6)	14.2(8)	14.3(8)	15.6(9)
a+b+c+2d+2e+f	1.02(6)	1.01(6)	1.03(7)	1.02(6)

იონმიმოცვლითი სინთეზის პროცედურა მთლიანობაში იწვევს მასალის დისპერსიის მნიშვნელოვან ზრდას, ყველაზე მსხვილი კრისტალიტების ზომა არ აღემატება 20 მკმ AgPSH-თვის და 30მკმ ZnPSH-თვის და CuPSH-თვის. ბუნებრივ ფილპსიტთან შედარებით 2 მკმ-ზე ნაკლები ზომის კრისტალიტების წილი იზრდება, განსაკუთრებით AgPSH ნიმუშისთვის (ნახ.1).



ნახ. 1. AgPSH-ის SEM გამოსახულებები მასშტაბური გადიდებით 1000 (a) და 5500 (b)

ფილიპსიტის ლითონშემცველი ცეოლითური სორბენტების ბაქტერიციდული თვისებები

ლითონის გამოსვლა და ანტიბაქტერიული აქტივობა. ლც-დან გამონთავისუფლებული ლითონის რაოდენობის განსაზღვრა ნორმალურ მარილხსნარში (9გ NaCl 1ლ დეიონიზირებულ წყალში) ტარდებოდა სტატიკურ პირობებში თერმოსტატირებულ აბაზანაში, ნჯღრევის ან მორევის გარეშე. ნიმუშების აღება ხდებოდა 0,1გ ნიმუშის, 100 მლ მარილ ხსნარში ჩატვირთვიდან 1, 3, 6, და 24სთ-ის შემდეგ.

ბუნებრივი და მოდიფიცირებული ნიმუშების ბაქტერიოსტატიკური თვისებები განისაზღვრებოდა დისკ- დიფუზიური მეთოდით (კირბი- ბაუერის); სტანდარტულ პირობებში გამოყენებული იყო კულტურა *E.coli*, აღმოცენებული მიულერ-ხინტონის აგარიზებულ არეში 37°C-ზე, ღამის განმავლობაში. შემოწმებულია ვერცხლის იონების გამოსვლა წყლის არეში, რომელიც მიმდინარეობს ადვილად. 6 სთ-ის შემდეგ, 0,1გ ცეოლითიდან 100მლ ხსნარში მათი რაოდენობა აღემატება მინიმალურ მაინჰიბირებელ კონცენტრაციას ვერცხლის იონებისათვის *E. coli*-თან მიმართებაში; თუთიის იონებისათვის კი ამ კონცენტრაციის მიღწევა შესაძლებელია 24 სთ-ის შემდეგ. ორივე ნიმუში ავლენს მაღალ ბაქტერიციდულ და ბაქტერიოსტატიკულ აქტივობას ნაწლავის ჩხირის (*Escherichia coli*) მიმართ.

ამასთან ერთად ანტიბაქტერიული აქტივობა შეიძლება მიეწეროს არამარტო გარკვეულ იონებს, არამედ თვით მოდიფიცირებულ ცეოლითებსაც.

ლითონშემცველი ფილიპსიტების იონების გამოტუტვა და ბაქტერიციდული აქტივობა. მოდიფიცირებული ცეოლითებიდან ლითონის გამოტუტვის მონაცემები მოტანილია ცხრილში 6. ლც–დან 6 საათის შემდეგ გამონთავისუფლებული ვერცხლის იონების რაოდენობა ეთანადება კონცენტრაციას 0,067 მილიმოლ-ს, რაც მაღალია მინიმალურ მაინჰიბირებელ კონცენტრაციაზე (მმკ) ვერცხლის იონებისათვის *E.coli*-თან მიმართებაში (3.996მგ/დმ³ ანუ 0,037 მილიმოლი). საწინააღმდეგოდ, სპილენძისა და თუთიის იონების რაოდენობა, გამონთავისუფლებული 24 საათის შემდეგ, შესაბამისად ეთანადება კონცენტრაციებს, 0,45 და 0,5მილიმოლს და შესაბამისად დაბალია მმკ-ს (მმკ)-ს მნიშვნელობაზე სპილენძისა და თუთიის იონებისათვის *E.coli*-თან მიმართებაში.

ცხრილი 6. ლითონის გამოტუტვა მოდიფიცირებული ფილიპსიტებიდან

იონები	იონი Ag ⁺ AgPSH -დან (მგ/ლ)	იონი Cu ²⁺ CuPSH-დან (მგ/ლ)	იონი Zn ²⁺ ZnPSH-დან (მგ/ლ)
1 საათში	<5	<5	5.2±1.2
3 საათში	<5	8.5±2.5	12.7±2.5
6 საათში	7.2±1.5	16.2±3.2	23.0±5.5
24 საათში	20.6±4.5	28.7±4.5	32.4±6.6

სორბენტების ბაქტერიციდულ აქტივობას გამოხატავს ცხრილი 7–ის მონაცემები, სადაც შედარებულია *E.coli*-ს სიცოცხლისუნარიანი უჯრედების ფარდობითი რაოდენობა, წყალში სუსპენდირებულ ბუნებრივ და მოდიფიცირებულ ფილიპსიტებთან კონტაქტის შემდეგ, ექსპერიმენტის საწყისში უჯრედების რაოდენობასთან მიმართებაში.

ბიოაქტიური ლითონების გამოტუტვის შედარებით მინიმალური მაინჰიბირებელი კონცენტრაციების მნიშვნელობებთან, შეიძლება დავასკვნათ, რომ AgPSH, CuPSH და ZnPSH-ის ანტიბაქტერიული აქტივობა

შეიძლება მიეწეროს ლითონშემცველი ცეოლიტს და არა მხოლოდ გამოტუტულ ლითონის იონებს.

ცხრილი 7. სიცოცხლისუნარიანი უჯრედების ფარდობითი რაოდენობა, წყალში სუსპენდირებულ ბუნებრივ და მოდიფიცირებულ ფილიპსიტებთან კონტაქტის შემდეგ

ნიმუში	PSH	AgPSH	CuPSH	ZnPSH
საწყისში	100	100	100	100
1საათის შემდეგ	102.5±4.2	72.0±4.1	85.0±5.0	93.2±6.5
3 საათის შემდეგ	98.3±3.5	23.6±2.8	42.0±2.5	51.6±4.7
6 საათის შემდეგ	99.6±4.5	0	12.0±2.0	30.4±2.2
24 საათის შემდეგ	100.5±4.8	0	0	0

ანალციმშემცველი ქანის ტრანსფორმაცია NaA ტიპის ცეოლიტში

საქართველოს ანალციმშემცველი ქანის გადაკრისტალებით ჰიდროთერმულ პირობებში მიღებულია ახალი სუფთა, მაღალი ფაზური შემცველობის წვრილდისპერსული NaA ტიპის ცეოლიტი. იგი აღიარებულია, როგორც აბსოლუტურად უსაფრთხო და საუკეთესო იონმიომცველი. ტევადობით (4.53 მექვ/გ).

ცხრილში 8 მოტანილია ბუნებრივი ანალციმიდან მიღებული ალუმინსილიკატური გელის მომზადებისა და დამუშავების დადგენილი ოპტიმალური პირობები.

ცხრილი 8. ალუმინსილიკატური გელის მომზადებისა და დამუშავების ოპტიმალური პირობები

ანალციმშემცველი ქანის დაწვრილმანება	0.063-0,01
ამორფიზაცია	მინერალის 20%-იანი HCl-ით დამუშავება
ამორფიზებული მასის წყალში სუსპენდირება შეფარდებით მყარი ფაზა:წყალი	1:3
სუსპენზიის (შემთბარი 40-50°C-ზე) NaOH-ის წყალხსნარით დამუშავება	14%-იანი NaOH
ჰომოგენიზაცია ინტენსიური მორევით	0,5 სთ
მომწიფება-დაბერება ხანგრძლივი დროის განმავლობაში	72 სთ
კრისტალიზაციის პროცესი	90-95°C

ცხრილზე 9 ნაჩვენებია NaA ტიპის ცეოლითის მისაღებად ალუმინსილიკატური გელის შემადგენელი კომპონენტების ოპტიმალური, მოლური თანაფარდობა, გელის დაბერების ხანგრძლივობა და კრისტალიზაცია თერმოსტატირებულ წყლის აბაზანაზე.

ცხრილი 9. გელის ოპტიმალური ქიმიური შედგენილობა და მისი დაბერების ხანგრძლივობა

ნედლეული	AG
მიღებული პროდუქტი	NaA
მოლური თანაფარდობა SiO_2/Al_2O_3	2,2
მოლური თანაფარდობა Na_2O_3/Al_2O_3	9,8
მოლური თანაფარდობა H_2O/Na_2O	40
დაბერების ხანგრძლივობა	72
ცეოლითიზაციის დასაწყისი დრო, სთ	30
კრისტალიზაციის საერთო დრო, სთ	92

ასევე შესწავლილია, ალუმინსილიკატური გელის გარდაქმნის პროცესი კრისტალიზაციის ცალკეულ სტადიაზე დაბერებულ ტუტეალუმინსილიკატურ გელში, ადსორბციული მეთოდით. ალუმინსილიკატური გელის კრისტალწარმოქმნის მიმდინარეობა საკრისტალიზაციო გელის მყარი ფაზის, ადსორბციული თვისებების თანმიმდევრული ცვლილებით, წარმოდგენილია ცხრილში 10.

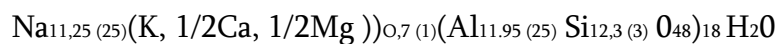
ცხრილი 10. საკრისტალიზაციო გელის მყარი ფაზის ადსორბციული თვისებების თანმიმდევრული ცვლილება

τ , სთ	a, მმოლ/გ, P/Ps=0,40	a, მმოლ/გ, P/Ps=1,0
6	2,0	2,8
10	2,4	
14	3,1	3,6
18	3,8	
22	4,5	5,3
26	6,6	7,3
28	8,0	
30	9,1	9,7
40	10,2	11,2
44	11,0	
47	11,8	12,8
53	12,9	14,2
58	13,1	14,0
66	13,2	14,0

რაც მიუთითებს საკრისტალიზაციო არეში ცალკეული პერიოდის არსებობაზე, საწყისი პერიოდი შეესაბამება კრისტალიზაციის ფორმირების ინდუქციურ პერიოდს (2,2-8.0 მმოლ/გ), შემდეგ გრძელდება კრისტალური ფაზის ინტენსიური სტრუქტურირება (9,1-13,1 მმოლ/გ), რასაც მოსდევს სიჩქარის მნიშვნელოვანი დაწევა და პროცესის დამთავრება, რომელიც ადსორბციის სიდიდის მუდმივი მნიშვნელობით (13,2 მმოლ/გ) განისაზღვრება.

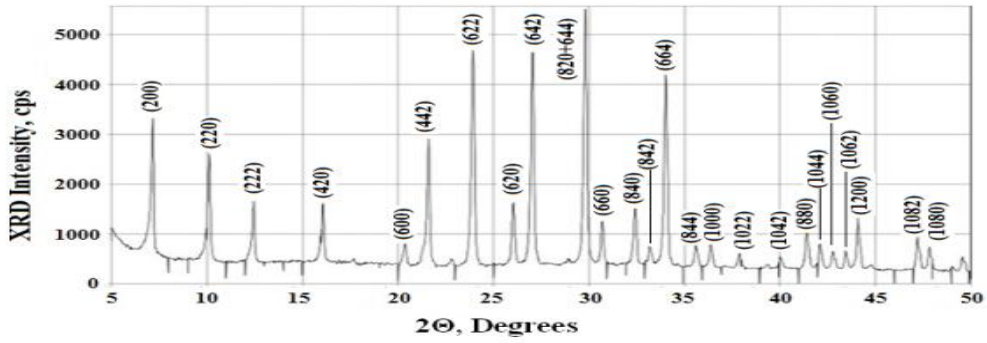
ახალი ბაქტერიციდული სორბენტის მატრიცის–სინთეზური NaA-ს ფიზიკურ–ქიმიური მახასიათებლები

ქიმიური ანალიზის მონაცემების მიხედვით მიღებული მასალა აღიწერება ემპირიული ფორმულით:

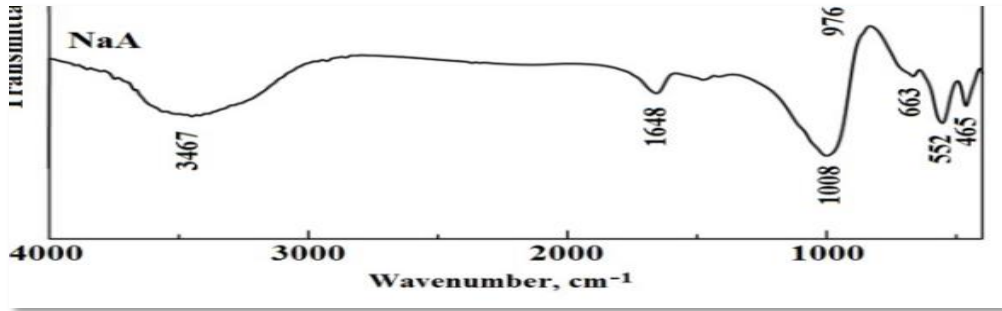


და კარგ თანხვედრაშია ეტალონური ნიმუშის (LTA) კრისტალოქიმიურ ფორმულასთან. ანალიზიდან მიღებული ცეოლითური მასალის რენტგენოგრამაზე ერთმნიშვნელოვანი დანიშნულების პიკების არსებობა, ადასტურებს მიზნობრივი პროდუქტის, NaA ტიპის ცეოლითის მიღებას, რაც თანხვედრაშია ფურიე იწ გამოკვლევის შედეგებთან (ნახ. 2a,b).

აღსანიშნავია, რომ გელის დაბერება ანუ მომწიფება დიდ როლს თამაშობს ამორფული გელის კრისტალურ ფაზაში გადასვლის პროცესზე. ენერგორესურსის დაზოგვის მიზნით გელის დაბერებისთვის არჩეულია ოთახის ტემპერატურა, კრისტალიზაციის პროცესისათვის კი - წყლის დუდილის ტემპერატურაზე ნაკლები, რაც გამორიცხავს ავტოკლავის აუცილებლობას და ჰიდროთერმალური კრისტალიზაციის პროცესის წყლის აბაზანაზე წარმრთვას. რასაკვირველია ამას მივყავართ დაბერების ხანგრძლივობის გაზრდამდე ექვსიდან ათ საათამდე და რამდენიმე დღემდე, მაგრამ ეს გვაძლევს 100 ჯოულამდე ეკონომიას 1გრამ სარეაქციო ნარევეზე.



a



b

ნახ. 2. ანალციმის გადაკრისტალების შედეგად მიღებული პროდუქტის -NaA ტიპის ცეოლითის რენტგენოგრამა (a) და ი.წ.სპექტრი (b)

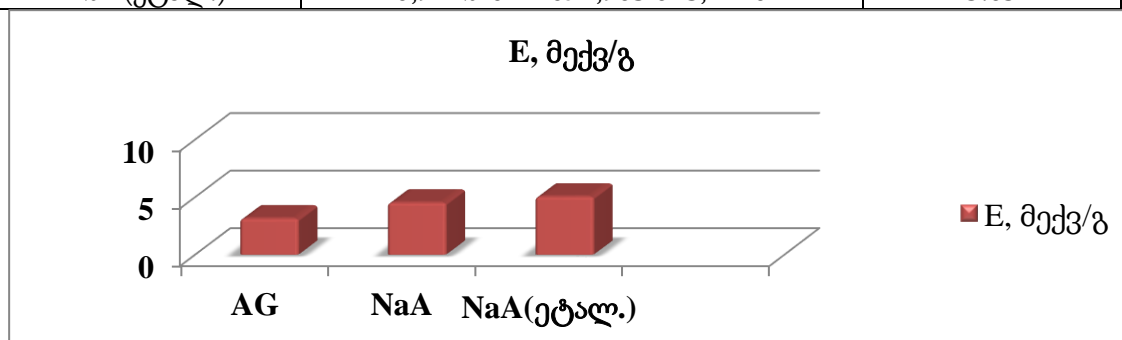
დადგენილია, რომ ბუნებრივი ანალციმის ჰიდროთერმული გადაკრისტალებით მიღებულია ფაზურად სუფთა NaA ტიპის ცეოლითი Si/Al=1 მოდულით; ცეოლითის კრისტალიტების 92%-ის ერთგვაროვანი მიკრომეტრული ფორმით (3–5მკმ), რომელიც თვისებებით ძვირადღირებული კომერციული NaA ცეოლითის კონკურენტუნარიანია.

სინთეზური NaA ტიპის ცეოლითი, ბაქტერიციდული თვისებების მიმნიჭებელი, Ag-, Cu-, და Zn- კატიონების, იონმიმომცველი

ქიმიური ანალიზის შედეგებზე დაყრდნობით, გამოთვლილი იონმიმომცველი ტევადობები, დასტურია იმისა, რომ მიღებული ცეოლითური სორბენტი ამავედროულად წარმოადგენს იონმიმომცველს საკმაოდ მაღალი იონმიმომცველი ტევადობით, რაც მასში იონმიმომცველის მეთოდით ბაქტერიციდული ლითონების კატიონების ჩანერგვის საშუალებას იძლევა.

ცხრილი 11. ბუნებრივი ნედლეულის - AG და სინთეზური ცეოლითების NaA და ეტალონი NaA-ს ქიმიური შედგენილობა და იონმიმოცვლითი ტევადობები

ცეოლითი	ქიმიური შედგენილობა	E, მექვ/გ
AG	$(0,67\text{Na}_2\text{O}\cdot 0,14\text{K}_2\text{O}\cdot 0,14\text{CaO}\cdot 0,13\text{MgO})$	3,15
NaA	$0,95\text{Na}_2\text{O}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2,04\text{SiO}_2\cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$	4,53
NaA(ეტალ.)	$0,97\text{Na}_2\text{O}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 1,90\text{SiO}_2\cdot 3,7\text{H}_2\text{O}$	5.05



შესწავლილია იონმიმოცვლის „მშრალი“ მეთოდით მიღებული NaA-ტიპის ბაქტერიციდული სორბენტები, ვერცხლის, სპილენძის და თუთიის მაქსიმალური ჩანაცვლების ხარისხებით. შედარებულია მათი ბაქტერიციდული თვისებები, ვერცხლ-, სპილენძ-, და თუთია-ჩანაცვლებულ ფილიპსიტებთან და ანალციმებთან.

ბუნებრივი (ანალციმი, ფილიპსიტი), სინთეზური (NaA-ტიპის ცეოლითი) და მათი მოდიფიცირებული ფორმების ქიმიური შედგენილობა, ვერცხლის, სპილენძის და თუთიის მაქსიმალური შემცველობით, ემპირიული ფორმულის სახით $(\text{MaNa}_b\text{K}_c\text{Ca}_d\text{Mg}_e\text{Me}_f)[\text{Al}_x\text{Si}_y\text{O}_z]\cdot n\text{H}_2\text{O}$ მოცემულია ცხრილში 12. ქიმიური ანალიზის თანახმად ცეოლითების კრისტალურ სტრუქტურაში Si/Al ფარდობა იცვლება უმნიშვნელოდ, წყლის მოლეკულების რაოდენობა კი იზრდება.

იონმიმოცვლის რეაქცია არ ცვლის ცეოლითის კრისტალურ სტრუქტურას, რაც დასტურდება მოდიფიცირებული ნიმუშების ფხვნილის დიფრაქტოგრამებით. და ფურიე გარდაქმნის იწ სპექტრებით. მოდიფიცირებული ნიმუშების იწ სპექტრებში მნიშვნელოვანი

ცვლილებები არ შეინიშნება გამოსავალი ცეოლითური მასალის რხევით ზოლებთან შედარებით.

ცხრილი 12. ბუნებრივი, სინთეზური და მათი მოდიფიცირებული ცეოლითური სორბენტების ქიმიური შედგენილობა

ნიმუში	ემპირიული ფორმულა	Si/Al
PSH	$(\text{Na}_{1.30}\text{K}_{2.0}\text{Ca}_{0.30}\text{Mg}_{0.25})\text{Me}_{0.10}[\text{Al}_{4.50}\text{Si}_{11.80}\text{O}_{32}] \cdot 11.4\text{H}_2\text{O}$	2.62(16)
AgPSH	$\text{Ag}_{3.42}(\text{Na}_{0.01}\text{K}_{0.08}\text{Ca}_{0.25}\text{Mg}_{0.20})\text{Me}_{0.03}[\text{Al}_{14.44}\text{Si}_{11.20}\text{O}_{32}] \cdot 14.2\text{H}_2\text{O}$	2.52(15)
CuPSH	$\text{Cu}_{1.80}(\text{Na}_{0.22}\text{K}_{0.17}\text{Ca}_{0.125}\text{Mg}_{0.12})\text{Me}_{0.075}[\text{Al}_{4.50}\text{Si}_{11.70}\text{O}_{32}] \cdot 14.3\text{H}_2\text{O}$	2.60(16)
ZnPSH	$\text{Zn}_{1.84}(\text{Na}_{0.01}\text{K}_{0.35}\text{Ca}_{0.075}\text{Mg}_{0.125})\text{Me}_{0.025}[\text{Al}_{4.47}\text{Si}_{11.70}\text{O}_{32}] \cdot 15.6\text{H}_2\text{O}$	2.64(16)
AG	$(\text{Na}_{9.25}\text{K}_{2.25}\text{Ca}_{1.1}\text{Mg}_{1.0})\text{Me}_{0.50}[\text{Al}_{16.2}\text{Si}_{32.0}\text{O}_{96}] \cdot 18.4\text{H}_2\text{O}$	1.98(15)
AgAG	$\text{Ag}_{9.5}(\text{Na}_{1.9}\text{K}_{1.7}\text{Ca}_{0.5}\text{Mg}_{0.5})\text{Me}_{0.10}[\text{Al}_{15.2}\text{Si}_{32.0}\text{O}_{96}] \cdot 18.9\text{H}_2\text{O}$	2.10(20)
CuAG	$\text{Cu}_{3.7}(\text{Na}_{3.2}\text{K}_{1.3}\text{Ca}_{0.75}\text{Mg}_{0.75})\text{Me}_{0.20}[\text{Al}_{15.0}\text{Si}_{32.0}\text{O}_{96}] \cdot 19.5\text{H}_2\text{O}$	2.13(15)
ZnACH	$\text{Zn}_{3.8}(\text{Na}_{3.7}\text{K}_{1.4}\text{Ca}_{0.75}\text{Mg}_{0.75})\text{Me}_{0.20}[\text{Al}_{15.1}\text{Si}_{32.0}\text{O}_{96}] \cdot 19.2\text{H}_2\text{O}$	2.13(15)
NaA	$\text{Na}_{11.25(25)}(\text{K}, \frac{1}{2}\text{Ca}, \frac{1}{2}\text{Mg})_{0.7(1)}(\text{Al}_{11.95(25)}\text{Si}_{12.3(3)}\text{O}_{48}) \cdot 18.0\text{H}_2\text{O}$	1.03(5)
AgA	$\text{Ag}_{10.3(4)}\text{Na}_{1.2(5)}(\text{K}, \frac{1}{2}\text{Ca}, \frac{1}{2}\text{Mg})_{0.20(5)}(\text{Al}_{11.7(3)}\text{Si}_{12.3(3)}\text{O}_{48}) \cdot 18.6\text{H}_2\text{O}$	1.05(6)
CuA	$\text{Cu}_{5.0(3)}\text{Na}_{1.35(25)}(\text{K}, \frac{1}{2}\text{Ca}, \frac{1}{2}\text{Mg})_{0.35(7)}(\text{Al}_{11.7(3)}\text{Si}_{12.3(3)}\text{O}_{48}) \cdot 19.4\text{H}_2\text{O}$	1.05(6)
ZnA	$\text{Zn}_{5.05(25)}\text{Na}_{1.2(3)}(\text{K}, \frac{1}{2}\text{Ca}, \frac{1}{2}\text{Mg})_{0.20(5)}(\text{Al}_{11.5(3)}\text{Si}_{12.2(3)}\text{O}_{48}) \cdot 19.7\text{H}_2\text{O}$	1.06(6)

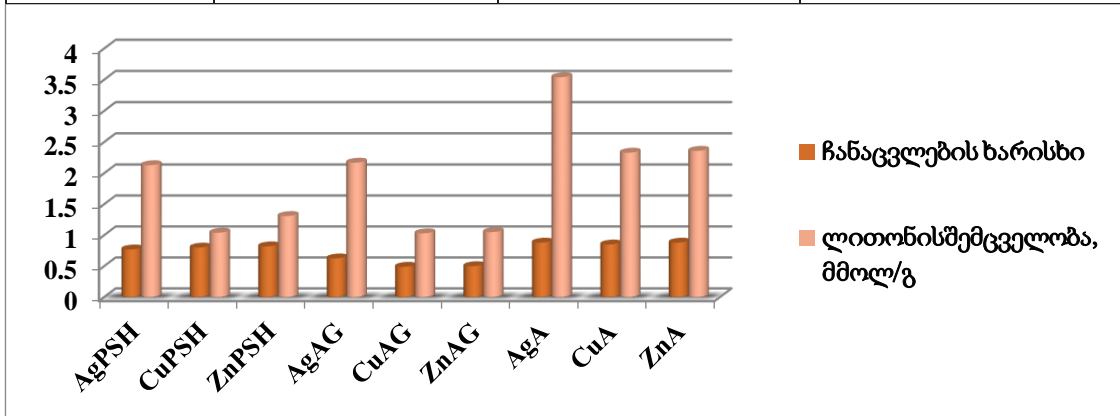
ჩანაცვლების ხარისხი (გარდამავალი ლითონის მუხტის ფარდობა, ალუმინის ატომების რაოდენობასთან $\text{Rb}=\text{A}/\text{X}$ – AgZ-თვის, $\text{Rb}=2\text{a}/\text{X}$ CuZ-თვის, $\text{Rb}=2\text{a}/\text{X}$ ZnZ-თვის) მეტია სინთეზური ცეოლითისთვის, ნაკლები ანალციმისთვის, მაგრამ ბიოაქტიური ლითონების შემცველობა ანალციმში არ ჩამორჩება მათ შემცველობას ფილიპსიტში (ცხრილი13).

ვერცხლის იონები საკმაოდ ადვილად აღწევენ ცეოლითის კრისტალურ სტრუქტურაში, სპილენძის და თუთიის იონების შეღწევა ანალციმის ვიწრო არხებში (4,2Ax 1,6A) გაძნელებულია, ეს შეიძლება იმ იონების ჰიდრატაციის ხარისხებს შორის სხვაობით აიხსნას, რომლებიც ფორებში ხვდებიან. ამგვარად ვერცხლის „იზოლირებული“ იონები (რადიუსი 1,15A) მეტია ვიდრე Cu^{2+} და Zn^{2+} (0,73A და 0,74A) შესაბამისად. მაგრამ ჰიდრატირებული ვერცხლის იონი შეიცავს 4 მოლეკულა წყალს $[\text{Ag}(\text{H}_2\text{O})_4^+]$ სწორხაზობრივად დამახინჯებულ ტეტრაედრულ კონფიგურაციაში, მაშინ როდესაც სპილენძის და თუთიის იონები შეიცავენ

ექვს მოლეკულა წყალს $[M(H_2O)_6^{2+}]$ და აქვთ სწორი ოქტაედრული კონფიგურაცია.

ცხრილი 13. ჩანაცვლების ხარისხები და ლითონის შემცველობა მოდიფიცირებულ ცეოლითებში

ნიმუში	ჩანაცვლების ხარისხი	ლითონის შემცველობა	
		მგ/გ	მმოლ/გ
AgPSH	0.77	230	2.13
CuPSH	0.80	66	1.04
ZnPSH	0.82	86	1.31
AgAG	0.625	234	2.17
CuAG	0.49	65	1.03
ZnAG	0.50	69	1.05
AgA	0.88	382	3.54
CuA	0.85	149	2.33
ZnA	0.88	154	2.36



ლითონის იონების გამონთავისუფლება

მოდიფიცირებული ცეოლითებიდან ლითონის იონების გამონთავისუფლების შესახებ მონაცემები მინიმალური მაინჰიბირებელი კონცენტრაციის მნიშვნელობების სახით, შესაბამისი ბიოაქტიური იონებისადმი მოტანილია ცხრილში 14.

ვერცხლის იონების მინიმალური მაინჰიბირებელი კონცენტრაცია (მმკ) *E.coli*-ს მიმართ შეადგენს 3,996 მგ Ag^+ დმ³-ში ანუ 0,037 მმოლს, Cu^{2+} და Zn^{2+}

იონების მმკ *E.coli*-ს მიმართ შეადგენს 1მმოლს. AgA-დან 1 სთ-ის შემდეგ გამონთავისუფლებული ვერცხლის იონების რაოდენობა რამდენადმე მაღალია, ვიდრე მმკ. იონები გამონთავისუფლებული AgPSH-დან მმკ-ს აღწევნენ მიახლოებით 2 საათის შემდეგ, AgG-დან მხოლოდ 12 საათის შემდეგ. ცეოლითებიდან გამონთავისუფლებული სპილენძის და თუთიის იონების რაოდენობა დაბალია მმკ-ზე და უმნიშვნელო ZnA-თვის, რაც არის სრულ თანხმობაში ლიტერატურულ მონაცემებთან.

ცხრილი 14. ლითონების გამოწვილვა (მმოლი / მმკ) ლც- დან

ნიმუში	ლPSH			ლAG			ლNaA		
	იონი	Ag ⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Ag ⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Ag ⁺	Cu ²⁺
1 საათში	0.75	<0.05	0.08	0.20	<0.05	<0.05	1.05	<0.5	<0.05
3საათში	1.3	0.13	0.20	0.43	0.2	0.23	2.4	0.11	<0.05
6საათში	1.8	0.25	0.35	0.92	0.34	0.38	3.2	0.22	<0.05
24საათში	5.2	0.45	0.5	1.6	0.52	0.6	5.0	0.32	0.15

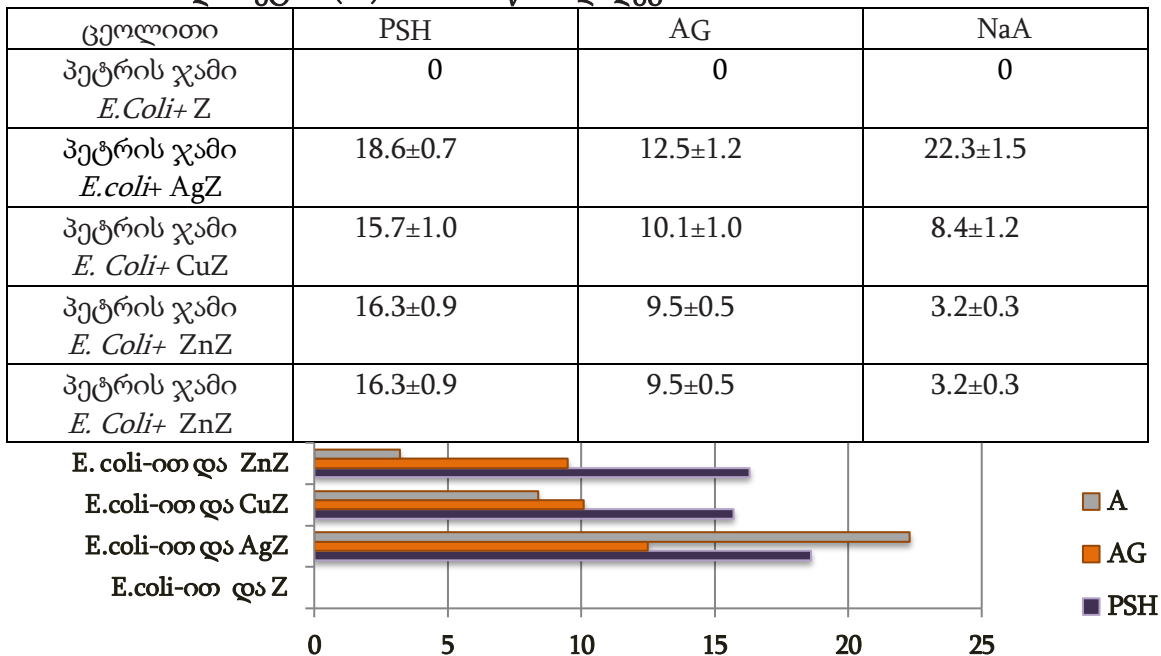
ბაქტერიციდული თვისებები. ცხრილში15 მოტანილია კირბი - ბაუერის ტესტის შედეგები. ანტიბაქტერიული თვისებები არ აღინიშნება დაუმუშავებელი ცეოლითებისათვის, მთლიანი ზრდა *E.coli*-ს კოლონიებისა მიმდინარეობს შესაბამის პეტრის ჯამებზე. უდიდეს ბაქტერიოსტატიკულ აქტივობას ამჟღავნებს ვერცხლჩანაცვლებული სინთეზური ცეოლითი AgA. CuA და ZnA ავლენენ დაბალ აქტივობას თუმცა გამონთავისუფლებული ბიოაქტიური ლითონები ვერ უზრუნველყოფენ მაინჰიბირებელ კონცენტრაციას. მაინჰიბირებელი ზონის დიამეტრები მოდიფიცირებელი ფილიპსიტების რამდენადმე მაღალია, ვიდრე იმავე ლითონების კატიონებით მოდიფიცირებული კლინოპტილოლიტების თურქეთიდან და რამდენადმე დიდია ვიდრე მოდიფიცირებული ანალციმების.

ჩატარებული კვლევების შედეგად დადგენილია, რომ მყარფაზური იონმიმოცვლითი რეაქციებს ქართულ ბუნებრივ ფილიპსიტსა და ანალციმზე ასევე ანალციმის გადაკრისტალებით მიღებულ NaA ტიპის ცეოლითზე ერთის მხრივ და შესაბამისი გარდამავალი ლითონების

მარილებთან მეორეს მხრივ მივყავართ ცეოლითური მასალების მიღებამდე ვერცხლის, სპილენძის, თუთიის მაღალი შემცველობით.

შეყვანილი ლითონების მაქსიმალური შემცველობა აღწევს სინთეზური ცეოლითისათვის (ვერცხლს - 380მგ/გ-ზე მეტს, სპილენძს 180 მგ/გ-მდე და თუთიას 159 მგ/გ-ზე მეტს), ბუნებრივი ცეოლითები შეიცავენ ნაკლებ რაოდენობა ბიოაქტიურ ლითონებს (ვერცხლს - 230 მგ/გ- მდე, სპილენძს 65 მგ/გ-მდე, თუთია 70-85 მგ/გ-მდე. ამგვარად, ვერცხლის, სპილენძის და თუთიის ჰიდრატირებული იონების ჩართვა ცეოლითის კრისტალურ სტრუქტურაში განისაზღვრება გამოყენებული ცეოლითის მიკროფორებისა და არხების შედგენადობით ერთის მხრივ და ჰიდრატირებული იონების ზომებით მეორეს მხრივ. წყლის არეში მოდიფიცირებული სინთეზური ცეოლითი სწრაფად ანთავისუფლებს ვერცხლის იონებს, მაინჰიბირებელი კონცენტრაცია *E.coli*-ს წინააღმდეგ მიიღწევა 1 საათზე ნაკლები დროის განმავლობაში, თუთიის იონები არ გამონთავისუფლდებიან სპილენძის იონები უმნიშვნელოდ.

ცხრილი 15. ბუნებრივი და მოდიფიცირებული ცეოლითების ინჰიბირების ზონის დიამეტრი (მმ) *E. coli*-ს წინააღმდეგ



ვერცხლის იონების გამონთავისუფლება მოდიფიცირებული ბუნებრივი ცეოლითებიდან მიდის ნელა- ფილიპსიტისთვის მაინჰიბირებელი

კონცენტრაცია მიიღწევა 2 საათის შემდეგ, ანალციმისათვის თუთიისა და სპილენძის იონების გამოყოფა ხდება მიახლოებით 12 საათის შემდეგ, მაგრამ მაინჰიბირებელი კონცენტრაცია არ მიიღწევა 24 საათის შემდეგაც მიუხედავად ამისა ყველა გამოკვლეული ნიმუში ავლენს ბაქტერიოსტატიკულ აქტივობას კირბი-ბაუერის ტესტში, რაც ადასტურებს თვითონ ცეოლითური მატრიცის აქტივობას და არა მხოლოდ ბიოაქტიური ლითონების იონების აქტივობას. უფრო მეტად აქტიურია ვერცხლისშემცველი სინთეზური ცეოლითი AgA. მაგრამ ბუნებრივი ფილიპსიტები, მათ შორის „იაფი“ ლითონების სპილენძისა და თუთიის შემცველიც ფლობენ საკმაოდ მაღალ აქტივობას და უფრო პერსპექტიულნი არიან სამედიცინო დანიშნულებით და სხვა მიზნებით გამოსააყენებლად.

ბაქტერიციდული ცეოლითური სორბენტების იონმიმოცლითი სინთეზი, გამსხვილებული პარტიით

ივ.ჯავახიშვილის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკური და ორგანული ქიმიის ინსტიტუტის, ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების კვლევის ლაბორატორიაში მიღებული იქნა ბაქტერიციდული სორბენტების გამსხვილებული პარტია.

დადგინდა, რომ ბაქტერიციდული სორბენტები ფილიპსიტების სპილენძისა და თუთიის იონების მაღალი შემცველობით მიიღება ცეოლითისა და მარილის შერევით 10 წთ-ის განმავლობაში. ამავე ლითონებით. NaA ტიპის საფუძველზე მომზადებული ცეოლითის სპილენძისა და თუთიის მოდიფიკაციების მიღება ხორციელდება მარილისა და ცეოლითის წონითი თანაფარდობით 1:1.3, 5 წთ-ის განმავლობაში. შევისწავლეთ მიღებული სორბენტების ბაქტერიოსტატიკური აქტივობა შემდეგი მიკროორგანიზმების (ნახ.3) მიმართ შედეგები მოტანილია ცხრილში 16, სადაც D/მმ- მიკროორგანიზმის ზრდის ინჰიბირების ზონის დიამეტრია.

დადგენილია, რომ მოდიფიცირებული PSH-სა და NaA -სპილენძისა და თუთიის ფორმები აქტიურია კვლევაში გამოყენებული ყველა მიკროორგანიზმის მიმართ. განსხვავებით Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} შემცველი ბუნებრივი ფილიპსიტისა და Na^+ შემცველი NaA-გან, რომლებიც იჩენენ რეზისტენტულობას ჩამოთვლილი მიკროორგანიზმებისადმი.

ჩატარებული კვლევის შედეგებზე დაყრდნობით ლაბორატორიულ პირობებში მიღებულია ვერცხლის, სპილენძისა და თუთიის შემცველი ცეოლითური სორბენტები ქაღალდის წარმოებაში ბაქტერიციდული ცეოლითური შემავსებლების სახით გამოსაყენებლად; მათ საფუძველზე დამზადებული ქაღალდის პროტოტიპები მახასიათებლებით ახლოა შემფუთავი მასალებისათვის წაყენებულ მოთხოვნებთან.

ცხრილი 16. მიღებული სორბენტების ანტიმიკრობული აქტივობა

#	გამოსაცდელი მიკროორგანიზმი	გამოცდის შედეგი, D/მმ							
		PSH	AgPSH	CuPSH	ZnPSH	A	AgA	CuA	ZnA
1	<i>Bacillus subtilis</i>	R	37	34	29	R	39	39	37
2	<i>Staphylococcus aureus</i>	R	27	25	32	R	28	26	38
3	<i>Escherichia coli</i>	R	25	24	27	R	27	39	35
4	<i>Candida albicans</i>	R	34	33	37	R	36	41	43
5	<i>Aspergillus niger</i>	R	39	36	41	R	40	42	46



Escherichia coli *Staphylococcus aureus* *Bacillus subtilis* *Candida albicans* *Aspergillus niger*

ნახ.3 გრამ-დადებითი ბაქტერია *Escherichia coli*, გრამ-უარყოფითი ბაქტერიები *Bacillus subtilis* და *Staphylococcus aureus*, სოკოები *Candida albicans* და *Aspergillus niger*

ჩვენ ყურადღებას ვამახვილებთ ბიოაქტიური მასალებისათვის ლითონშემცველი ცეოლითური შემავსებლების ბაქტერიციდული

აქტივობის უზრუნველყოფაზე, რომლებიც შეიცავენ უფრო იაფ ლითონებს თუთიას (2.2-2,5 \$/კგ) და სპილენძს (5.8-6.2 \$/კგ) იმ ნიმუშების აქტივობასთან შედარებით, რომლებიც შეიცავენ ძვირადღირებულ ვერცხლს (16,8-17,5 \$/ უნცია).

მომზადებული ბაქტერიციდული ცეოლითური შემავსებლები, რომელთა გამოყენებაც შესაძლებელია სასოფლო-სამეურნეო კვების პროდუქტების და სხვა სახის პროდუქციის შესაფუთად გამოყენებული ქაღალდის წარმოებისთვის, გააუმჯობესებენ ქაღალდის მექანიკურ თვისებებს, უზრუნველყოფენ მაღალ ადსორბციულ ტევადობას წყლის ორთქლის მიმართ და ბაქტერიციდულ და ბაქტერიოსტატიკურ აქტივობას, რაც ამცირებს პროდუქტების ბაქტერიული დაბინძურების საშიშროებას გამორიცხავს ობის, არასასიამოვნო სუნების და სხვა მიკრობული დაბინძურების წარმოქმნას ქაღალდისა და მუყაოს ზედაპირზე. ასეთმა ბაქტერიციდულმა ცეოლითურმა სორბენტებმა შეიძლება გამოყენება ჰპოვონ როგორც შემავსებლებმა, ასევე მფილტრავმა მასალებმა და სადეზინფექციო საშუალებებმა .

დიდია ინტერესი, ქაღალდის, მუყაოს და შეფუთვის სხვა საშუალებების მწარმოებელი, შპს „ქაღალდი“ის მიერ, ჩვენს მიერ მომზადებულ ბაქტერიციდულ ცეოლითურ შემავსებლებზე. წარმოებისთვის, ქაღალდის ცეოლითური ბაქტერიციდული შემავსებლის მომზადების ტექნოლოგიის გადაცემის შემთხვევაში, შემავსებლის ქაღალდის მასაში შეყვანის ტექნოლოგია და ქაღალდი/მუყაოს წარმოება, ერთობლივად იქნება დამუშავებული.

დასკვნა

- დახვეწილი და მოწოდებულია სწრაფი, ეკოლოგიური და რენტაბელური იონმიმოცვლის, მყარფაზური მეთოდი, რომელიც არსებულისაგან განსხვავებით, საწყისი ნივთიერებების ერთჯერადი ურთიერთქმედებით, მოკლე დროში განაპირობებს მაღალსორბციულ-დეტოქსიკაციური ბაქტერიციდული სორბენტების მიღებას;
- დადგენილია, რომ იონმიმოცვლის პროცედურა იწვევს ცეოლითური მასალის დისპერსიის მნიშვნელოვან ზრდას, კონკრეტულად: AgPSH ნიმუშის შემთხვევაში მსხვილი კრისტალიტების ზომა არ აღემატება 20 მკმ-ს, ZnPSH და CuPSH ნიმუშების შემთხვევაში კი-30მკმ-ს. კვლევის შედეგებში ნიშანდობლივია ის ფაქტიც, რომ ბუნებრივ ფილიპსიტთან შედარებით ყველა ზემოთ აღნიშნულ შემთხვევაში 2მკმ-ზე ნაკლები ზომის კრისტალიტების წილი იზრდება;
- ქართული ბუნებრივი ანალციმის გადაკრისტალეზით, პირველად არის მიღებული ძვირადღირებული A ტიპის ცეოლიტის ალტერნატიული, წვრილდისპერსული, მიკრომეტრული რომბული და კუბური კრისტალების სახის ცეოლითური სორბენტი NaA, მახასიათებლით $Si/Al=1$, და მაღალი იონმიმოცვლითი ტევადობით (4,53 მექვ/გ). სინთეზური NaA კვლევაში ჩართულია როგორც ეტალონი ბუნებრივ ფილიპსიტთან და მის ბაქტერიოსტატიკურ აქტივობასთან შესადარებლად;
- პირველად, ფილიპსიტს, სინთეზურ NaA ტიპის ცეოლიტს და შესაბამისი გარდამავალი ლითონების მარილებს შორის მყარფაზური იონმიმოცვლითი რეაქციებით მიღებულია ნიმუშები - AgPSH- 230 მგ/გ ვერცხლის, CuPSH- 66 მგ/გ სპილენძის და ZnPSH-86 მგ/გ თუთიის შემცველობით. ასევე, AgA- 380 მგ/გ ვერცხლის, CuA -180 მგ/გ სპილენძის და ZnA- 159 მგ/გ თუთიის შემცველობით;
- დადგენილია, რომ ვერცხლის, სპილენძის და თუთიის

ჰიდრატირებული იონების ჩართვას ცეოლითის კრისტალურ სტრუქტურაში განაპირობებს ერთის მხრივ გამოყენებული ცეოლითის მიკროფორების არხების შეღწევა და მეორეს მხრივ ჰიდრატირებული იონების ზომები. გამოკვლეული ნიმუშები ავლენენ ბაქტერიციდულ აქტივობას კირბი–ბაუერის, დისკ–დიფუზიურ, ტესტში, რაც ადასტურებს არა მხოლოდ ბიოაქტიური ლითონების იონების აქტივობას, არამედ თვითონ ლითონშემცველი ცეოლითური სორბენტის აქტივობასაც;

- ნაჩვენებია, რომ უფრო მეტად აქტიურია ვერცხლისშემცველი ფილიპსიტი - AgPSH, რაც შეეხება „იაფი“ ლითონების სპილენძისა და თუთიის შემცველ ფილიპსიტებს- CuPSH და ZnPSH, რომლებიც ფლობენ ასევე საკმაოდ მაღალ ბაქტერიციდულ აქტივობას, ეკონომიური თვალსაზრისიდან გამომდინარე უფრო პერსპექტიულია სამედიცინო დანიშნულებით და სხვა მიზნებისათვის გამოსაყენებლად;
- ბაქტერიციდული ცეოლითური სორბენტები, შემავსებლის სახით, გამოყენებულია ქაღალდის წარმოებაში, მიღებულია ქაღალდის პროტოტიპები;
- შემუშავებულია ლითონის მაქსიმალური შემცველობით ლითონ-შემცველი ცეოლითური სორბენტების მიღების ოპტიმალური პირობები. დადგენილია, რომ აღნიშნული ნიმუშები AgPSH, CuPSH, ZnPSH მიიღება ცეოლითისა და მარილის თანაფარდობით 1:1, 10 წუთის განმავლობაში. AgA, CuA და ZnA – თანაფარდობით 1:3, 5 წუთის განმავლობაში;
- PSH-ის და NaA-ს საფუძველზე მომზადებული სორბენტების ანტიმიკრობული აქტივობის შესწავლის შედეგად დადგენილია, რომ მოდიფიცირებული ფილიპსიტისა და NaA-ს ვერცხლის, სპილენძისა და თუთიის ფორმები აქტიურია კვლევაში გამოყენებული ყველა მიკროორგანიზმის მიმართ, განსხვავებით მათი საწყისი ფორმებისაგან, რომლებიც იჩენენ რეზისტენტულობას ჩამოთვლილი მიკრო-ორგანიზმებისადმი.

სადისერტაციო ნაშრომის ირგვლივ მასალები გამოქვეყნებულია 8 სტატიის სახით

1. N.M. Dolaberidze, V.G. Tsitsishvili, B.T. Khutsishvili, N.A. Mirdzveli, M.O. Nijaradze, Z.S. Amiridze, M.N. Burjanadze. Silver- and Zinc-Containing Bactericidal Phillipsites. *New Materials, Compounds and Applications*, 2018, Vol.2, No.3, pp.247- 260. ISSN 2523- 4773 (Online), ISSN 2521-7194 (Print).
2. N.Mirdzveli, V.Tsitsishvili, N.Dolaberidze, M.Panayotova, M.Doula, K.Ebralidze, M.Nijaradze, Z.Amiridze, B.Khutsishvili. Bactericidal activity of metal-containing phillipsites. Proceeding Book, *EurasianBioChem 2019*, 2019, Ankara, Turkey, p.28-34.
3. ბ.ხუციშვილი, ნ.დოლაბერიძე, ნ.კუციავა. ბუნებრივი ფილიპსიტი ბაქტერიციდული სორბენტების შექმნის საფუძველი. სამეცნიერო შრომების კრებული, “ქიმია- მიღწევები და პერსპექტივები“, 2019, თბილისი, გ. 164-170.
4. N.Dolaberidze, V.Tsitsishvili, N.Mirdzveli, M.Nijaradze, Z.Amiridze, B.Khutsishvili, T.Kapanadze, K.Virsaladze. Zeolite filter materials. Proceedings, First International Scientific and Practical Conference “*New Innovations*”. 2019, Kutaisi, Georgia, p. 377-381.
5. Khutsishvili B.T, Dolaberidze N.M., Kutsiava N.A., Tsitsishvili V.G, Panayotova M.I., Mirdzveli N.A. Ability to Create New Bactericidal Materials. International Scientific Practical Conference “*Sustainable Development and Protection of Environment*” Works, 2020, Tbilisi, p.309-312.
6. Tsitsishvili V.G., Dolaberidze N.M., Kutsiava N.A., Khutsishvili B.T., Mirdzveli N.A. Bactericidal Properties of Metal-Containing Phillipsites. *Georgian Engineering News (GEN)*, 2020, #2, p. 83-84.
7. Tsitsishvili V., Dolaberidze N., Mirdzveli N., Nijaradze M., Amiridze Z., Tsertsvadze A., Khustishvili G., Virsaladze K., Kapanadze T., Khustishvili B., Chalidze N. Bactericidal Adsorbents Prepared From Georgian Natural Zeolites. Proceedings, The II International Scientific-Practical Internet-Conference “*Modern Pharmacy-Science and Practice*”, 2020, Kutaisi. Georgia, p.116-119.
8. Khutsishvili B.T. Properties of Georgian Phillipsites and its Application for Production of Bactericidal Adsorbents. Proceedings of the 2nd International

Scientific and Practical Conference “*Recent Scientific Investigation*”, Oslo, Norway, 11-12.06.2021, InterConf, #61, p.269-276.

Abstract

Zeolite sorbents and ion exchange agents containing bioactive metals and bactericidal properties are promising materials in terms of ecological sanitary and medical use, due to the combination of zeolite sorption-detoxification and antimicrobial properties of metal.

There is currently great interest in developing cost-effective methods for obtaining bactericidal zeolite materials of prolonged action.

The aim of our work was to obtain bactericidal zeolite sorbents from Georgian, selection of natural mineral raw materials, refinement of the method of obtaining pure fine-grained bactericidal sorbents based on them - scientific development, study of physico-chemical and bactericidal properties.

Based on the research, was selected natural zeolite phillipsite from type Shukhuti precinct-PSH and synthetic zeolite type A obtained by hydrothermal recrystallization from natural analcime (Gelati origin-AG). They are characterized by high ion-exchange capacity and adsorption capacity to water vapor. Which makes it possible to use them to produce bactericidal zeolite materials. Based on selected natural phyllipsite and synthetic NaA type zeolite, a dry, solid phase ion exchange reaction between the zeolite microcrystals (5 μm) and the corresponding salt of the transition metals is performed to obtain silver, copper, and zinc-containing microporous bactericidal materials. During this reaction the exchange of ions takes place at normal temperatures and often ends in the shortest time. Further increase in zeolite and salt as well as prolongation of the interaction leads to a slight increase in the degree of substitution. The chemical composition of sorbents is determined and identified by X-ray diffraction patterns and FT-infrared spectra. Low-temperature nitrogen adsorption-desorption isotherms and adsorption water vapor, confirm the maintenance of the total pore volume and the mesopore system, with cylindrical channels (average diameter 22 nm) and more than pore diameter (more than 50 nm). Skaning electron microscopy images show that the synthetic ion exchange synthesis procedure leads to an increase in the dispersion of the obtained materials. The procedure of ion exchange synthesis as a whole leads to a significant increase in the dispersion of the material. The size of the largest crystals does not exceed 20 μm for AgPSH and 30 μm for ZnPSH and CuPSH, the proportion of 2 μm smaller crystals compared to natural phillipsite increases, especially for the AgPSH sample.

Prepared materials containing silver, copper and zinc were tested for bacteriostatic activity against *Eschetichia coli* in intestinal sticks, which was determined by Kirby-Bauer disc diffusion method. Regardless of whether the amount of bioactive metal ions reaches the minimum inhibitory concentration in the solution, silver-containing zeolite is more active. Its bactericidal effect can be attributed not only to the silver ions released in the solution, but also to the AgPSH itself. Then again, here too, CuPSH and ZnPSH activity can be linked not

to the ionized metal ions, but to the metal-containing zeolites themselves. Thus, to obtain bactericidal sorbents, the ion exchange process between natural phyllipsite and transition metal salts has been studied and refined, in solid phase state, hich in contrast to the existing "wet" method of ion exchange in a short time, with a single treatment of the starting substances, high sorption-detoxification bactericidal sorbents are obtained. It has been established that by this method it is possible to obtain samples with high content of silver, copper and zinc, while maintaining the structure and other properties of zeolite; Obtained metal-containing zeolites exhibit bactericidal activity even when the allocated metal ions fail to reach the minimum inhibitory concentration in the intestinal sticks.

Due to the great interest in the use of synthetic zeolite sorbents in medical technology, in the second stage of the research, new pure, high-phase low-dispersion zeolite crystals with hydrothermal crystallization of Georgian analcime were obtained. Using the method developed by us, the maximum cation-substituted bactericidal sorbents of silver, copper and zinc are created from it. Natural analcime in this case is the source of the Si and Al components necessary for the production of synthetic A Type zeolite and for the first time, an alternative to of expensive commercial reagents in the crystallization process.

Bactericidal zeolite sorbents AgA, CuA, ZnA were obtained by the solid-phase ion exchange method developed by us by the interaction of synthetic NaA and corresponding salts. Their bactericidal properties have been studied. Prepared materials show bacteriostatic activity against intestinal sticks (*Escheria coli*). Sorbents containing cheap "metals" are more promising materials.

The use of obtained bactericidal zeolite materials is recommended for cleaning and decontamination of contaminated waters and soils in various fields of medicine and environmental measures. Also for use as a bactericidal zeolite filler in paper production. They in all cases reduce the high risk of contamination by microorganisms.

AgPSH, CuPSH and ZnPSH bactericidal zeolite have been prepared large parties and delivered at the Tbilisi manufacturing "Paper+" for production testing paper batch. Paper prototypes with satisfactory bacteriostatic activity and increased mechanical properties have been obtained.