

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ზაქარია შერაზადიშვილი

ბექთაქარის ოქრო-პოლიმეტალური მადნების კვლევა და  
კეთილშობილი ლითონების ამოღების ტექნოლოგიის დამუშავება

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2014 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის

----- დეპარტამენტზე/

----- მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელები: ტ.მ.დ. პროფესორი მარლენ მჭედლიძე  
ტ.მ.კ. ნინო შეყრილაძე

რეცენზენტები: -----

-----

დაცვა შედგება ----- წლის ”-----” -----, ----- საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და  
მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს

სხდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია -----

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს

ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატის - ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

## შესავალი

საქართველოს ეკონომიკის აღმავლობა დიდად არის დამოკიდებული სამთო-მოპოვებითი, ქიმიურ-ტექნოლოგიური და მეტალურგიული დარგების აღორძინებაზე და შემდგომ განვითარებაზე. ბუნებრივი რესურსების კომპლექსური გამოყენება, წიაღისეულის გადამუშავებისა და გამდიდრების დროს სასარგებლო კომპონენტის დანაკარგების და გარემოზე წარმოების ნარჩენების მავნე ზემოქმედების შემცირება, მჭიდროდაა დაკავშირებული ახალი ტექნოლოგიური პროცესების შემუშავებასა და უკვე არსებული ტექნოლოგიური სქემების სრულყოფის აუცილებლობასთან.

ამჟამად საქართველოში ინტენსიურად მიმდინარეობს გეოლოგიური სამუშაოები ოქროს შემცველი საბადოების დაძიებისა და შემდგომი ათვისების მიზნით. ერთ-ერთი ასეთი საბადო არის ბექთაქარის საბადო, იგი ოქრო-პოლიმეტალური მადნებით არის წარმოდგენილი, რომლებიც შეიცავენ ოქროსა და ვერცხლს, როგორც თანამდევ სასარგებლო კომპონენტს, ოქსიდაციის ზონაში ძირითადი ფასეული მეტალები ოქრო და ვერცხლია, არის აგრეთვე სპილენძის, ტყვიის და თუთიის მეორადი მინერალები, რომლებმაც შესაძლებელია უარყოფითი გავლენა იქონიოს ოქროს პირდაპირი ციანირების პროცესზე. მაგალითად სპილენძი არის ოქროს ქიმიური დეპრესანტი, ხოლო ტყვიის და თუთიის ზეგავლენის შესახებ ლიტერატურული მონაცემები საკმაოდ მწირია.

ჩვენი სადისერტაციო ნაშრომის მიზანია ბექთაქარის ოქრო-პოლიმეტალური მადნების კვლევა და კეთილშობილი ლითონების ამოღების ტექნოლოგიის დამუშავება.

ოქროს მადნების გადამუშავების ტექნოლოგიური სქემები გამოირჩევიან მრავალფეროვნებით. ამა თუ იმ სქემის შერჩევა ან დამუშავება დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, რომლებიდანაც მთავარია მადნის მინერალოგია; ფუჭი ქანის შედგენილობა; ოქროს მახასიათებლები მადანში, პირველ რიგში მისი სისხო; მინერალების თვისება, რომლებთანაც ასოცირებულია ოქრო; ფუჭი ქანის მინერალების თვისება; მადნებში ფასეული კომპონენტების არსებობა; ისეთი კომპონენტების არსებობა, რომლებიც ართულებენ ტექნოლოგიური პროცესების მიმდინარეობას.

მადნებიდან ოქროს ამოწვლილვის ტექნოლოგიური პროცესი შედგება მოსამზადებელი (მადნების დამსხვრევა, დაქუცმაცება), გამამდიდრებელი (გრავიტაციული, ფლოტაციური და სხვა) და მეტალურგიული (ამალგამაცია, ციანირება, დნობა, გამოწვა, ადსორბცია–დესორბცია, ელექტროლიზი, ცემენტაცია და ა. შ.) ოპერაციებისგან.

შერჩეული ან შემუშავებული ტექნოლოგიური სქემა უნდა უზრუნველყოფდეს ოქროს ამოწვლილვის მაღალ მაჩვენებელს, ნედლეულის კომპლექსურ გამოყენებას მატერიალური, ენერგეტიკული და სამუშაო რესურსების მინიმალურ დანახარჯებს და რაც არანაკლებ მნიშვნელოვანია, გარემოს მინიმალურ დაბინძურებას საწარმოს ნარჩენებით.

**თემის აქტუალობა.** სასარგებლო წიაღისეულის ეფექტური გადამუშავება დამოკიდებულია რიგ საკითხებზე: გადამუშავების შედეგად მიღებული პროდუქტის თვითღირებულება, პროდუქტის ხარისხი, პროდუქტის კონდიციურობა, მადნიდან სასარგებლო კომპონენტების კომპლექსური და სრული ამოკრეფა. აღნიშნული საკითხების კვლევა ძალზედ აქტუალურია იმის გათვალისწინებით, რომ საქართველოში მცირე ზომის და დაბალი ხარისხის მადნის შემცველი საბადოები გვაქვს. გამონაკლისს არც ბექთაქარის საბადო არ წარმოადგენს. საბადოს რენტაბელობისთვის კი აუცილებელია შემუშავდეს ან შეირჩეს ისეთი გადამუშავების ტექნოლოგიური პროცესი, რომელიც უზრუნველყოფს: მადნიდან სასარგებლო კომპონენტების კომპლექსურ და სრულ ამოკრეფას, მიღებული პროდუქტების შეძლებისდაგვარად დაბალ თვითღირებულებას და მაღალ ხარისხს.

ზემოაღნიშნული განსაზღვრავს წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომის აქტუალობას, რამდენადაც იგი ეძღვნება ბექთაქარის საბადოს მადნების კვლევას და კეთილშობილი ლითონების ამოღების ტექნოლოგიის დამუშავებას.

**სამუშაოს მიზანი.** ბექთაქარის საბადოს ოქრო-პოლიმეტალური მადნების კვლევა და გადამუშავების ოპტიმალური ტექნოლოგიის შემუშავება კონდიციური კონცენტრატების მიღების მიზნით.

**კვლევის ობიექტი და მეთოდები.** კვლევის ობიექტს წარმოადგენს ბექთაქარის საბადოს ოქრო-პოლიმეტალური მადნები.

მადნის შედგენილობის კვლევისათვის გამოყენებულია ქიმიური, ფიზიკურ-ქიმიური და ფაზური ანალიზის მეთოდები, ხოლო კეთილშობილი ლითონების ამოდების ტექნოლოგიის დამუშავებისთვის - ციანირების მეთოდი, მადნის ფიზიკური მეთოდებით გადამუშავება და ფლოტაცია.

**კვლევის ძირითადი ამოცანა და მეცნიერული სიახლე.**

1. ბექთაქარის საბადოს მადნის ქიმიური შედგენილობის დადგენა.
2. ბექთაქარის საბადოს მადნიდან ციანირების მეთოდით ოქროს ამოწვლილვის პროცესის გამოკვლევა.
3. ბექთაქარის საბადოს დაჟანგულ მადანში ბუნებრივი სორბენტების შემცველობის განსაზღვრა და ციანირების პროცესზე მათი გავლენის დადგენა.
4. ოქრო-პოლიმეტალური მადნის მინერალოგიური, ელემენტური და ფაზური შედგენილობის გამოკვლევა.
5. ოქრო-პოლიმეტალური მადნის ფიზიკური მეთოდებით გამდიდრების პროცესის გამოკვლევა.
6. ოქრო-პოლიმეტალური მადნის ფლოტაციის მეთოდით გადამუშავების პროცესის გამოკვლევა.
7. ბექთაქარის საბადოს მადნებისთვის გადამუშავების ოპტიმალური ტექნოლოგიური პროცესის შემუშავება.

ბექთაქარის ოქრო-პოლიმეტალური მადნები დღემდე საფუძვლიანად არ გამოკვლეულა. დადგენილი იყო მხოლოდ, რომ მადნები გარკვეული რაოდენობით შეიცავს ოქროს; მისი შემცველობა და საერთოდ, მადნის შედგენილობა სხვადასხვა წერტილში მკვეთრად განსხვავებულ შედეგებს აჩვენებდა და შესრულებული ზედაპირული კვლევების საფუძველზე შეუძლებელი იყო საერთო დასკვნების გაკეთება. ჩვენს მიერ შესრულებული კვლევების საფუძველზე ეს საკითხები პრაქტიკულად გადაწყვეტილად შეიძლება ჩაითვალოს, თუმცა საჭიროა კიდევ კვლევების გაგრძელება, რომელიც საბოლოოდ ბექთაქარის ოქროს საბადოს ექსპლუატაციაში გაშვების გარანტი იქნება. დისერტაციაში დასმული ყველა ძირითადი პრობლემური ამოცანის გადაწყვეტა აღნიშნული საბადოს მადნებისთვის პირველად ჩვენს მიერ არის შესრულებული.

შემუშავებულია ბექთაქარის საბადოზე არსებული მადნის ორივე ტიპისთვის გადამუშავების ობტიმალური ტექნოლოგიური პროცესი. კერძოდ ოქრო-მცირედ სულფიდური დაჟანგული მადნების გადამუშავება შესაძლებელია, მათი 2.5 მმ-მდე დამსხვრევით და შემდეგ პირდაპირი ციანირებით (გროვული გამოტუტვა), ხოლო რაც შეეხება ოქრო-პოლიმეტალურ მადნებს, მათი დამსხვრევა უნდა მოხდეს 0,074 მმ-მდე (87.6%), შემდეგ კი გადამუშავების ტექნოლოგიური პროცესი ორ ეტაპად უნდა წარიმართოს. თავდაპირველად ციანირებით უნდა ამოიწვლილოს თავისუფალი და თავისუფალი ზედაპირის მქონე ოქრო (გადამუშავების პროცესში ციანირების ჩართვა მნიშვნელოვანია იმით, რომ ფლოტაციის დროს თავისუფალი ოქროს მნიშვნელოვანი რაოდენობის კარგვა ხდება), შემდეგ კი უნდა მოხდეს ციანირების კუდების ფლოტაცია.

**შედეგების გამოყენების სფერო.** სადისერტაციო ნაშრომის შედეგები შეიძლება საფუძვლად დაედოს ბექთაქარის საბადოს მადნების კომპლექსურ გადამუშავების ტექნოლოგიას.

**ნაშრომის აპრობაცია.** დისერტაციის ძირითადი შინაარსი მოხსენებულია საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკულ კონფერენციაზე „ინოვაციური ტექნოლოგიები და გარემოს დაცვა“ (ქუთაისი 2012).

**პუბლიკაციები.** სადისერტაციო თემაზე გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო სტატია საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალებში.

**სამუშაოს მოცულობა.** სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შემდეგი ნაწილებისაგან: შესავალი, ორი თავი და დასკვნა. შეიცავს რეზიუმეს, შინაარსს, 36 ნახაზს, 41 ცხრილს, 61 ციტირებული ლიტერატურის ნუსხას წყაროს დასახელებით. დისერტაცია წარმოდგენილია 110 თაბახის ფურცელზე.

## ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

### თავი 1. ლიტერატურის მიმოხილვა

ოქრო-პოლიმეტალური სულფიდური მადნები ეწოდება ტყვია-თუთიის მადნებს, რომლებიც ტყვიისა და თუთიის გარდა, შეიცავს სამრეწველო მნიშვნელობის მქონე სპილენძს, კადმიუმს, ვერცხლს, ოქროს და სხვა იშვიათ და გაბნეულ ელემენტებს. სხვა ოქროს შემცველ მადნებთან შედარებით პოლიმეტალური მადნები ხასიათდება ყველაზე რთული მინერალური შემადგენლობით, რომლებიც თავის მხრივ გავლენას ახდენს როგორც ოქროს ამოკრეფაზე, ისე მთლიანად პოლიმეტალური მადნების გადამუშავების ტექნოლოგიური პროცესის შერჩევაზე ან შემუშავებაზე.

ოქროსთან დაკავშირებული ოპერაციები შედგება ორი ძირითადი ეტაპისგან: მადნის მოპოვება და გადამუშავება. მოპოვება განისაზღვრება, როგორც ბუდობიდან ნედლი მადნის ამოღების პროცესი, რომელიც ღია კარიერული ან მიწისქვეშა წესით ხორციელდება, ხოლო მადნის გადამუშავება ოთხი უმთავრესი მეთოდით ხდება: ციანირება, ფლოტაცია, ამალგამაცია და გრავიტაცია.

ოქროს მადნების გადამუშავების მეთოდის შერჩევაზე გავლენას ახდენს ოქროს არსებობის ფორმები, ზომა, ტექნოლოგიური პროცესის გამართულელებელი კომპონენტების (მაგ. სპილენძი, რომელიც ოქროს დეპრესანტია ციანირების პროცესში) და ბუნებრივი სორბენტების (ნახშირი, ოქსიანი ნივთიერებები, თიხები) არსებობა მადანში.

პოლიმეტალური მადნების ფლოტაციის მეთოდით გადამუშავებისას ოქროს აფლოტირებენ როგორც თავისუფალი სახით, ასევე ოქროს შემცველ მინერალებთან ერთად - მეტწილად სპილენძის და ტყვიის სულფიდებთან, აგრეთვე პირიტთან და არსენოპირიტთან.

უკანასკნელ წლებში საკმაოდ მკაფიოდ გამოიკვეთა ახალი მიმართულებები ოქრო-პოლიმეტალური მადნების გამდიდრების ტექნოლოგიური სქემების სრულყოფის მიმართულებით:

სუფთა ფლოტაციური სქემების შეცვლა გრავიტაციურ-ფლოტაციურით, რომელშიც ფლოტაციის წინ ჩართულია მადნის მძიმე სუსპენზიებში გამდიდრების ოპერაცია. ეს იძლევა საშუალებას გამოიყოს ფუჭი ქანის ძირითადი მასა გადასაყრელი კუდების სახით მადნის მსხვილად დამსხვრევისას და დაფქვა-ფლოტაციაზე წავიდეს მადნის შემცირებული რაოდენობა, სასარგებლო კომპონენტების უფრო მაღალი შემცველობებით.

ამავე მიმართულებით საინტერესოა რადიომეტრული სეპარაცია, რომლის დანერგვაც დაიწყო ოქრო-პოლიმეტალური და სხვა ტიპის მადნების კომბინირებულ სქემებში, მძიმე სუსპენზიების ნაცვლად.

ოქროს შემცველი მადნების მიმართ რადიომეტრული გამდიდრების მეთოდის გამოყენებით შესაძლებელია რამდენიმე ტექნოლოგიური ამოცანის გადაწყვეტა, რომელთაგან ყველაზე გავრცელებულია გადასაყრელი კუდების მოცილება მადნის მომზადების ოპერაციაში. ეს მეთოდი განსაკუთრებით მისაღებია საქართველოს საბადოებისთვის, მათი მცირე მოცულობისა და დაბალხარისხიანი მადნების გამო.

ანალოგიური ტექნოლოგიური ამოცანაა ოქროს არაბალანსური მადნების გადამუშავება - ოქროთი მდიდარი ფრაქციის გამოყოფა, რომლის შემდგომი გამდიდრება ეკონომიკურად მიზანშეწონილი იქნება.

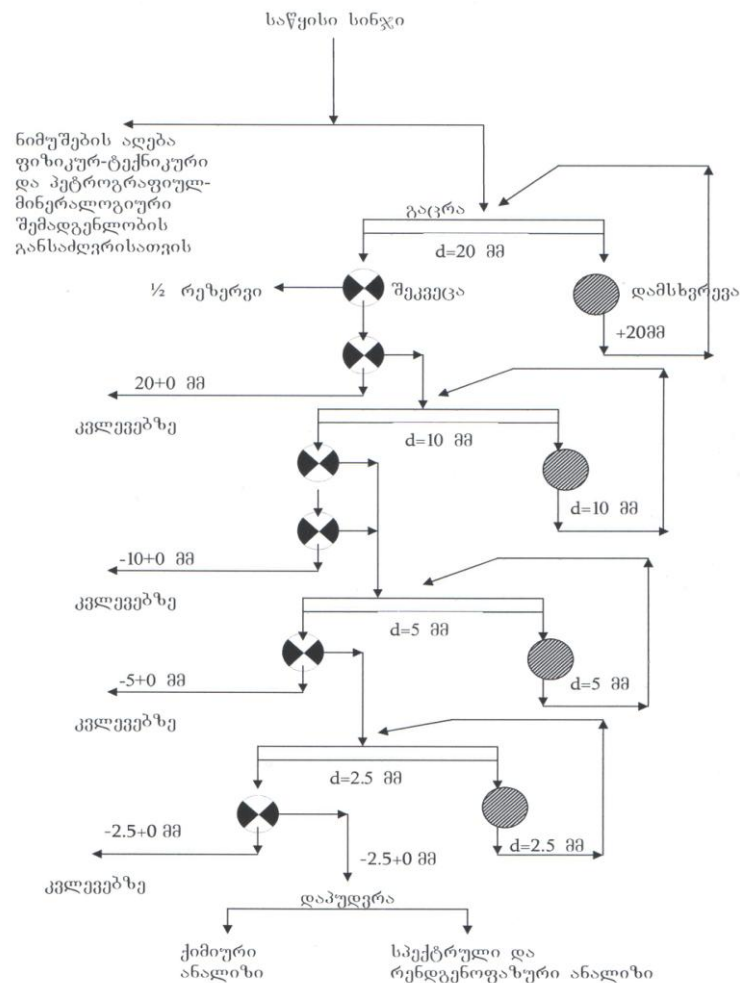
უახლესი სამეცნიერო-ტექნიკური ინფორმაციის ანალიზის შედეგები გვიჩვენებს, რომ არსებობს სერიოზული თეორიული ბაზა არა მარტო რეალიზებული ტექნოლოგიური პროცესების სრულყოფისა და ინტენსიფიკაციისთვის, არამედ პრინციპულად ახალი პროცესების შექმნისთვის სხვადასხვა ტიპის, მათ შორის ოქრო-პოლიმეტალური მადნების გადამუშავებისთვის. მათი საშუალებით შესაძლებელი ხდება შევამციროთ სასაქონლო პროდუქციის ენერგოტევადობა და თვითღირებულება, ავამაღლოთ წიაღისეულის გამოყენების კომპლექსურობა, გადავწყვიტოთ სამთო-გამამდიდრებელი წარმოების პრობლემები გარემოს დაცვის თვალსაზრისით.



## თავი 2. შედეგები და მათი განსჯა

ცნობილია, რომ სამთო თუ სხვა ხასიათის მასალების ფიზიკურ-ქიმიური კვლევისას განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა საანალიზო და საკვლევი სინჯების მომზადებას, მაგრამ ოქროს შემცველი მადნების კვლევისას საანალიზო და საკვლევი ნიმუშების მომზადების პროცესი გამორჩეულია - ოქროს შემცველობა ხომ ერთეული და ზოგჯერ მეათედ გრამებში იზომება 1ტ მადანზე გადაანგარიშებით. შეიძლება ერთი ადგილიდან ალებულ ათობით კგ ნიმუშში იგი სრულებით არ გვექონდეს მეორედან ალებულში კი მისი შემცველობა რამდენჯერმე აღემატებოდეს მის საშუალო შემცველობას მადანში.

ჩვენს მიერ დამუშავებულ იქნა კვლევისათვის ოქროს შემცველი მადნების ნიმუშების მომზადების სქემა (ნახ. 1).



ნახ. 1. ოქროს შემცველი ნიმუშების კვლევისათვის მომზადების სქემა

მადნის ქიმიური შედგენილობის დასადგენად ჩავატარეთ ნახ. 1-ში წარმოდგენილი სქემის მიხედვით მომზადებული სინჯების ქიმიური ანალიზი

ოქროს, ვერცხლის, სპილენძის, თუთიის და ტყვიის შემცველობებზე. მათგან ზოგიერთი ნიმუშის ქიმიური შემადგენლობა მოყვანილია ცხრილ 1-ში.

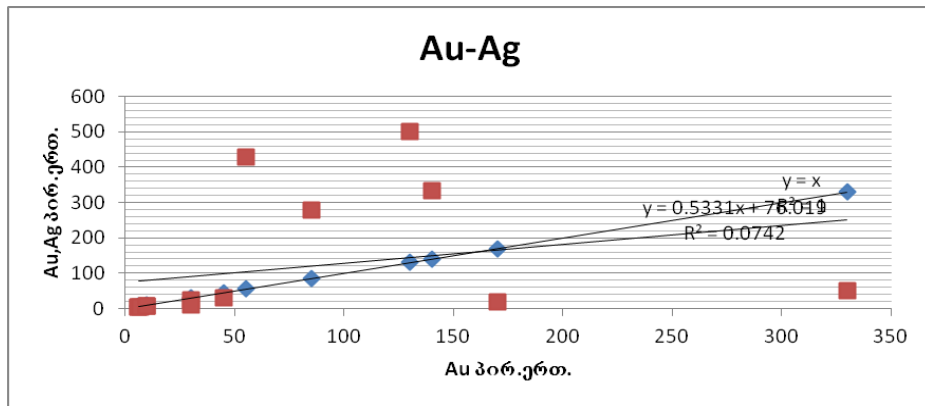
ანალიზი ოქროს შემცველობაზე წარმოებდა პრაქტიკაში კარგად აპრობირებული მეთოდით, კერძოდ ნიმუშის სამეფო წყლით დაშლით, დიიზობუტილ კეტონით ექსტრაქციით და შემდეგ მისი განსაზღვრა ატომურ აბსორბციული მეთოდით (ხელსაწყო დასახელება: Agilent Technologies 200 series AA). ვერცხლის, სპილენძის, ტყვიის და თუთიის განსაზღვრა წარმოებდა შემდეგი მეთოდით. ნიმუშის სამეფო წყლით დაშლა და შემდეგ მათი განსაზღვრა ასევე ატომურ აბსორბციული მეთოდით.

**ცხრილი 1. ბექთაქარის საბადოს ზოგიერთი სინჯის ქიმიური შედგენილობა**

სინჯის №	Au პირობითი ერთეული	Ag პირობითი ერთეული	Cu %-100	Pb %-100	Zn %-100
1	6	3	0.5	1	5
2	6	3	0.4	1	4
3	7	3.5	0.5	1	5
4	10	7	0.9	1	8
5	10	6.5	0.5	1	6
6	10	8	0.6	4	3
7	30	25	3.4	1	11
8	30	10	1.1	2	7
9	45	29	4.6	6	10
10	55	430	1.8	25	24
11	85	280	3.4	64	69
12	130	500	5.7	75	74
13	140	332.5	7.1	71	177
14	170	20	10.7	67	131
15	330	50	6.2	50	123

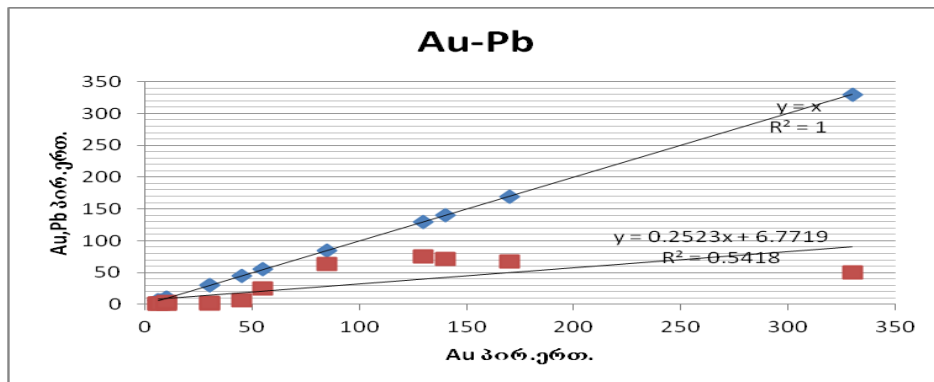
ცხრილი 1-ის მონაცემებიდან ირკვევა, რომ საბადოდან აღებულ ნიმუშებში როგორც ოქროს, ისე ვერცხლის შემცველობები ცვალებადი ხასიათისაა და მკვეთრად განსხვავდება ერთმანეთისგან. ზოგიერთ მათგანში მათი შემცველობები საშუალოზე გაცილებით დაბალია, მაშინ როდესაც ზოგიერთ ნიმუშში მათი შემცველობები რამდენჯერმე აღემატება მათ საშუალო მნიშვნელობებს. ზოგადად შეიძლება ითქვას, რომ ოქროს და ვერცხლის შემცველობების ცვალებადობა მეტნაკლებად ურთიერთკავშირში იმყოფება, თუმცა კორელაციური დამოკიდებულება მაღალი ხარისხით არ უნდა

გამოირჩეოდეს, რაც ნათლად ჩანს ნახ. 2-ის მონაცემებით, რომელზეც ასახულია ოქროსა და ვერცხლის შემცველობებს შორის კორელაციური დამოკიდებულება.

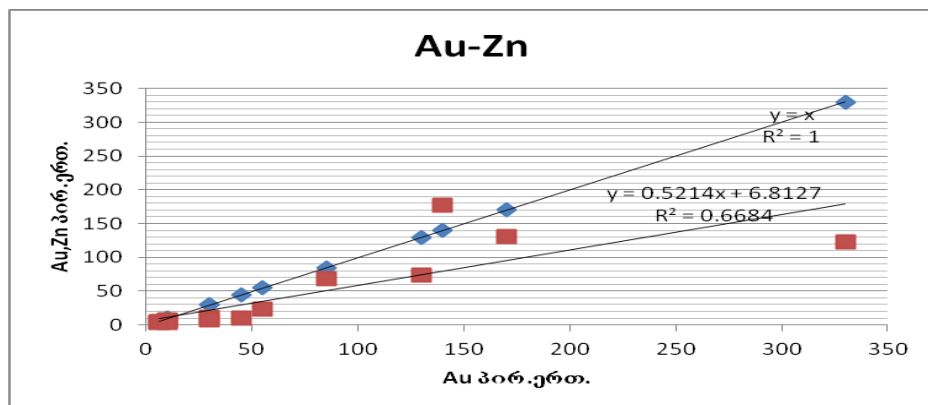


ნახ. 2. ოქროსა და ვერცხლის შემცველობებს შორის კორელაციური დამოკიდებულების ამსახველი გრაფიკი, კორელაციის კოეფიციენტის ჩვენებით

ცხრილი 1 ასევე გვიჩვენებს, რომ ოქროსა და ფერადი ლითონების შემცველობებს შორის არსებობს შედარებით მაღალი ხარისხის კორელაციური კავშირი, რაც ნათლად ჩანს ნახ. 3-ზე და ნახ. 4-ზე.



ნახ. 3. ოქროსა და ტყვიის შემცველობებს შორის კორელაციური დამოკიდებულების ამსახველი გრაფიკი, კორელაციის კოეფიციენტის ჩვენებით



ნახ. 4. ოქროსა და თუთიის შემცველობებს შორის კორელაციური დამოკიდებულების ამსახველი გრაფიკი, კორელაციის კოეფიციენტის ჩვენებით

რაც შეეხება ფერადი ლითონების გავლენას მადნიდან ძვირფასი ლითონების ამოღების პროცესზე, ჩვენი აზრით სპილენძი, თავისი დაბალი შემცველობის გამო, გავლენას ვერ მოახდენს. სულ სხვა სურათი გვაქვს თუთიის და ტყვიის შემცველობის თვალსაზრისით. მათი შემცველობა მეტწილად 10-ჯერ და მეტად აღემატება სპილენძის შემცველობას.

მადნის ქიმიური შედგენილობის კვლევამ გვიჩვენა, რომ მადანი სამრეწველო მნიშვნელობის ოქროს შეიცავს, ამიტომ მიზანშეწონილად მივიჩნით ციანირების მეთოდით გამოგვეკვლია ოქროს ამოწვლილვის პროცესი.

ტესტირება შემდგენიარად მიმდინარეობს: 1 კგ მასის მადანი იფქვება 90% - 0,08+0მმ-მდე და თავსდება 5 ლიტრიან პლასტმასის ბოთლში. მადანს ემატება 0,1%-იანი ნატრიუმის ციანიდის ხსნარი, მოცულობით 1,5ლ და კირი, რომლის საშუალებითაც იქმნება ტუტე არე pH 10-11 ფარგლებში, რათა გამოირიცხოს ნატრიუმის ციანიდის ჰიდროლიზი და ჰაერში ძლიერტოქსიკური ციანწყალბადმჟავის გამოყოფა. პროცესის მიმდინარეობის პერიოდში ანალიზურად კონტროლდება pH, თავისუფალი ციანიდის და ოქროს კონცენტრაციები ხსნარში. ყოველი ცდის დასაწყისიდან 0.5; 1; 2; 4; 6; 8; 12; 24; 48; 72; 96 და 120 საათის შემდეგ ხდება pH-ის და თავისუფალი ციანიდის განსაზღვრა, ხოლო ოქროს კონცენტრაცია ხსნარში იზომება ყოველ 24 საათში ერთხელ. საჭიროების შემთხვევაში ხდება ხსნარის კონცენტრაციის და pH-ის კორექცია საწყის სიდიდეებამდე.

ტესტირება ტარდება მექანიკურ ამძრავზე მოთავსებულ ბოთლებში (ე.წ. „ბოთლის ამრევებში“), მოცულობით 5ლ, პროცესის ხანგრძლივობა 120 საათია. მეთოდის სტანდარტულია.

ზემოთ აღწერილილი მეთოდის გამოყენებით მოვახდინეთ ბექთაქარის პოლიმეტალური საბადოს ბაზაზე (ნახ. 1-ზე წარმოდგენილი სქემის მიხედვით) მომზადებული 35 ტექნოლოგიური სინჯის ტესტირება. შედეგები წარმოდგენილია ცხრილ 2-ში.

ცხრილ 2-ში წარმოდგენილი პირველი 20 სინჯი (B1-დან B20-ის ჩათვლით) წარმოადგენს დაჟანგულ მადნებს, ხოლო მომდევნო 15 სინჯი (B21-დან B35-ის ჩათვლით), ოქრო-პოლიმეტალური სულფიდური მადნის წარმომადგენლობითი ტექნოლოგიური სინჯებია. უნდა აღინიშნოს, რომ პირველი 9 სინჯი (B1-დან B9-

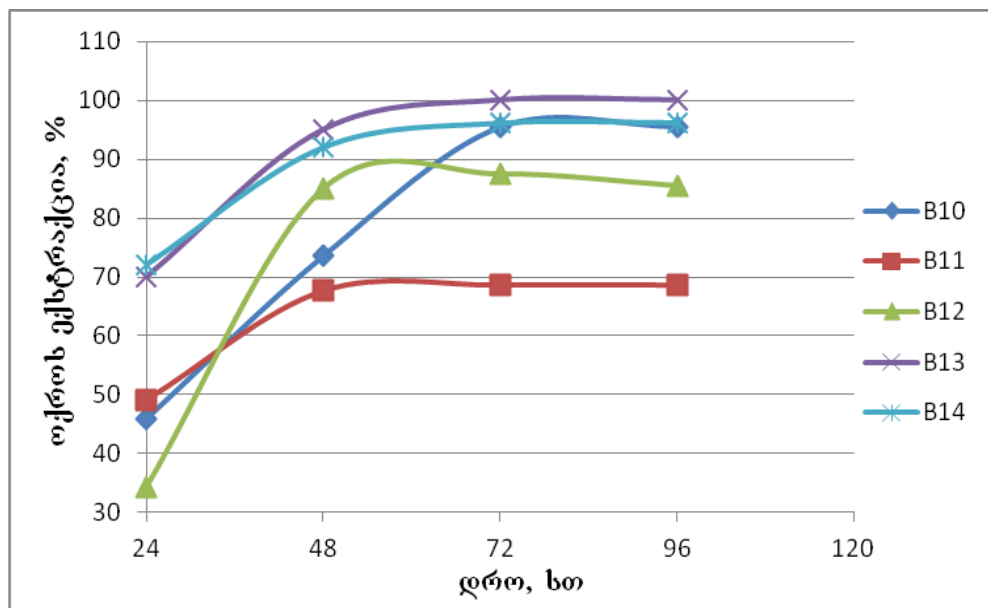
ის ჩათვლით) აღებულია საბადოს ზედაპირზე, ხოლო დანარჩენი სინჯები - საბადოს სიღრმეში.

**ცხრილი 2. ბექთაქარის საბადოს მადნების ტექნოლოგიური სინჯების ციანირების შედეგები (დაფქვის ზომა, 90% 0.08მმ)**

სინჯის №	ოქროს ექსტრაქცია, %					რეაგენტების ხარჯი, კგ/ტ	
	დრო, სთ					CaO	NaCN
	24	48	72	96	120		
B1	60.47	81.90	89.09	89.09	-	0.260	0.990
B2	43.16	47.01	64.10	64.10	-	0.267	1.020
B3	34.36	37.01	46.89	46.90	-	0.265	1.170
B4	60.44	86.55	86.55	-	-	0.267	0.880
B5	65.01	89.53	90.91	90.91	-	0.270	0.968
B6	62.83	88.84	88.31	88.85	-	0.267	1.100
B7	51.02	51.02	54.13	54.13	-	0.300	0.792
B8	54.04	54.04	74.99	74.99	-	0.280	0.953
B9	80.31	80.56	78.80	78.80	-	0.300	0.864
B10	88.75	90.0	90.0	-	-	0.278	1.050
B11	91.91	93.68	94.15	94.15	-	0.300	0.705
B12	82.35	84.61	85.29	85.29	-	0.260	0.960
B13	51.29	91.04	91.03	91.04	-	0.267	0.225
B14	68.62	86.96	89.65	-	-	0.305	0.540
B15	76.28	86.67	95.71	95.71	-	0.270	0.690
B16	40.00	90.85	93.85	93.85	-	0.320	0.210
B17	71.11	77.78	88.89	88.90	-	0.280	1.590
B18	90.43	97.56	97.56	-	-	0.272	0.585
B19	83.52	95.55	96.81	96.81	-	0.301	0.360
B20	83.84	95.55	95.55	-	-	0.290	0.435
B21	0	8.3	10.97	21.94	21.9	0.250	0.330
B22	6.4	8.34	10.94	21.5	21.5	0.255	0.901
B23	-	-	-	-	-	0.308	1.030
B24	-	-	11.00	11.00	-	0.241	0.924
B25	9.76	11.67	26.09	26.09	-	0.273	0.850
B26	-	-	-	-	-	0.300	0.646
B27	-	-	10.69	10.69	-	0.327	1.230
B28	27.96	32.99	33.0	33.0	-	0.244	0.110
B29	-	-	-	-	-	0.286	0.675
B30	-	7.36	26.77	26.8	-	0.300	0.750
B31	11.47	13.40	28.37	28.9	-	0.300	0.900
B32	0	4.4	22.41	22.5	-	0.214	0.437
B33	0	10.1	13.76	27.24	-	0.200	1.000
B34	4.2	6.04	13.08	13.10	-	0.200	0.984
B35	-	7.36	26.77	26.8	-	0.300	0.750

ცხრილ 2-ში წარმოდგენილი შედეგებიდან შეიძლება გავაკეთოთ დასკვნა, რომ ბექთაქარის საბადოს დაჟანგული მადანი ემორჩილება პირდაპირ ციანირებას და ამ მეთოდით მადნის გადამუშავებისას შესაძლებელია ოქროს ექსტრაქციის მაღალი ხარისხის მიღწევა, რეაგენტების დაბალი ხარჯის პირობებში. იგივეს ვერ ვიტყვით ოქრო-პოლიმეტალურ სულფიდურ მადანზე, აღნიშნული მადანი მიეკუთვნება ე.წ. „ჯიუტ მადნებს“ და პირდაპირ ციანირებას არ ექვემდებარება, მათი გადამუშავებისთვის საჭიროა, ოქროს ამოღების სხვა ოპტიმალური მეთოდის შერჩევა და ტექნოლოგიის შემუშავება.

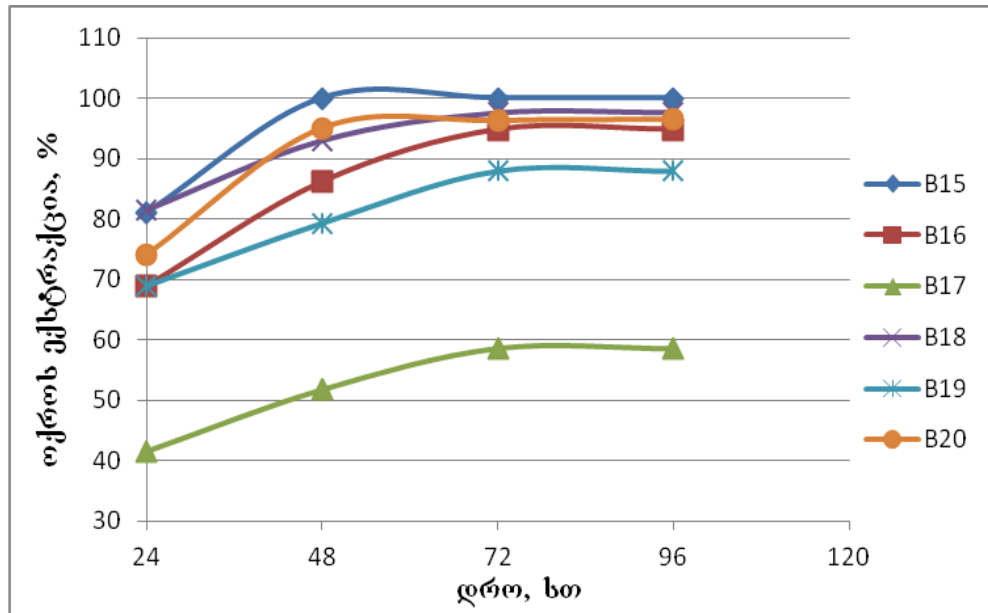
ცნობილია რომ მადნის გადამუშავებისას ერთ-ერთი ძვირად ღირებული პროცესი, მისი დამსხვრევაა. აქიდან გამომდინარე მიზანშეწონილად მივიჩნიეთ ციანირებადი ოქრო განგვესაზღვრა უფრო უხეშად დამსხვრეულ ტექნოლოგიურ სინჯებში. კვლევები ჩავატარეთ ბექთაქარის საბადოს სიღრმისეული დაჟანგული მადნის ტექნოლოგიურ სინჯებზე. შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 5-ზე.



**ნახ. 5. ბექთაქარის საბადოს დაჟანგული მადნის ტექნოლოგიური სინჯების ციანირების შედეგები**

ბექთაქარის საბადოს დაჟანგული მადნის ტექნოლოგიური სინჯების მსხვილ მასალაზე (-2,5+0 მმ) ჩატარებულმა კვლევებმა გვიჩვენა, რომ ამ შემთხვევაშიც, ორი სინჯის B11 და B17-ის გარდა (სადაც ოქროს ამოკრეფა შესაბამისად გვაქვს 68.63% და 58.59% ) გვაქვს ოქროს ექსტრაქციის მაღალი ხარისხი (>85%) და ოქროს გახსნის მაღალი სიჩქარე. მიღებული შედეგებიდან

გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ ბექთაქარის საბადოს დაჟანგული მადანი ხელსაყრელია გროვული გამოტუტვისთვის. ამასთან აღსანიშნავია რეაგენტების ძალიან დაბალი ხარჯი: CaO-0.102-0.425გ/ტ და NaCN-0.205-0.880 გ/ტ.



### ნახ. 5. გაგრძელება

შევისწავლეთ ციანირების პროცესზე თიხური მინერალების გავლენა, დავადგინეთ, რომ ჩვენს მიერ შესწავლილი მადნის შედგენილობაში შემავალი თიხური მინერალები ვერ ახდენენ არსებით გავლენას ციანირების პროცესზე.

გამომდინარე იქიდან, რომ ციანიერების მეთოდით ოქრო-პოლიმეტალური მადნების გადამუშავება ვერ მოხერხდა და აუცილებელი გახდა გადამუშავების სხვა ტექნოლოგიის შემუშავება, ხოლო ოქროს ამოღების ტექნოლოგიის სრული ციკლი მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული მადნის ქიმიურ და ფაზურ შედგენილობაზე, აგრეთვე მადანში ოქროს არსებობის ფორმებზე, სწორედ ამ მიმართულებით წარიმართა ჩვენი შემდეგი კვლევები.

დავადგინეთ ბექთაქარის საბადოს ოქრო-პოლიმეტალური სულფიდური მადნის ელემენტური შედგენილობა და ჩვენი კვლევის ინტერესთა სფეროში მოხვედრილი ლითონების: ოქროს, ვერცხლის, ტყვიის, თუთიის, სპილენძის და რკინის ფაზური შედგენილობები.

ტექნოლოგიური სინჯის კვლევით მიღებული შედეგები გვიჩვენებს, რომ მადანში ტყვიის შემცველობა მნიშვნელოვნად მაღალია - 0,8%, კიდევ უფრო მაღალია თუთიის შემცველობა - 1.63%. ტყვია ძირითადად წარმოდგენილია სულფიდური ფორმით (90.1%), გაცილებით მცირე რაოდენობით იმყოფება ცერუსიტის და ანგლეზიტის სახით (8.5%); კიდევ უფრო მცირე რაოდენობითაა პლუმბოიაროზიტის სახით (1.4%); ტყვიის ანალოგიურად, თუთია ძირითადად სულფიდურ ფორმაში იმყოფება. რაც შეეხება სპილენძს მისი 45% პირველადი სულფიდების სახითაა წარმოდგენილი. ზოგადად შეიძლება ითქვას, რომ საკვლევ ობიექტში (ტექნოლოგიურ სინჯში) ფერადი ლითონები ძირითადად სულფიდურ ფორმაში იმყოფება რაც აუცილებლად უნდა იქნეს გათვალისწინებული მადნიდან ოქროს ამოწვლილვის ტექნოლოგიური სქემის შემუშავებისას.

ფაზური შედგენილობის თვალსაზრისით ოქრო და ვერცხლი არაერთგვაროვნად არის განაწილებული მადანში. ასე მაგ. მადანში არსებული ვერცხლის 68% წარმოდგენილია თავისუფალი და შენაზარდების ფორმით მათგან სუფთა ზედაპირით 57%, მაშინ როდესაც იმავე ფორმით წარმოდგენილია ოქროს 81.7%, ამასთან ოქროს 69.5% სუფთა ზედაპირითაა. ოქროსგან განსხვავებით ვერცხლის საკმაოდ დიდი ნაწილი 32% ასოცირებული ფორმითაა.

დავადგინეთ ასევე მადნის მინერალოგიური შედგენილობა. ძირითადი მადნეული მინერალებია: პირიტი  $\text{FeS}_2$  (2%), მელნიკოვიტი, ხალკოპირიტი  $\text{CuFeS}_2$  (0.2%), სფალერიტი  $\text{ZnS}$  (2%), გალენიტი  $\text{PbS}$  (1%), და იშვიათად მქრქალი მადნები. სულფიდების საერთო შემცველობა მადანში 5-6%-ს შეადგენს.

გადამუშავების ოპტიმალური სქემის შემუშავებისთვის აუცილებელია ლაბორატორიულ პირობებში მოისინჯოს ფიზიკური მეთოდებით მადნის გამდიდრება.

მადნის გრანულომეტრული ანალიზის მეთოდით გამდიდრების პროცესის გამოკვლევის მიზნით, საანალიზოდ ავიღეთ საბადოს სხვადასხვა უბნებიდან აღებული ნიმუშებით მომზადებული საშუალო სინჯი დაწვრილმანების ხარისხით - -1+0 მმ და ჩავატარეთ მისი საცრითი ანალიზი. თითოეულ კლასში განისაზღვრა სპილენძის, ტყვიის, თუთიის, რკინის, ოქროს და ვერცხლის შემცველობა (ცხრილი 3).



**ცხრილი 3. კომპონენტების განაწილება კლასების მიხედვით**

კლასი, მმ	გამოსავალი, %	შემცველობა, % (პირობითი ერთეული)						განაწილება, %					
		Cu	Pb	Zn	Fe	Au, (პ.ე.)	Ag, (პ.ე.)	Cu	Pb	Zn	Fe	Au	Ag
+1	0,1	0,064	0,77	1,48	1,32	124,7	125,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
-1+0,5	36,4	0,092	0,70	1,60	1,82	119,1	106,3	36,5	30,4	34,4	32,0	43,3	38,7
-0,5+0,315	11,0	0,084	0,73	1,72	2,18	102,5	100,0	10,1	9,6	11,2	11,6	11,3	11,0
-0,315+0,2	6,4	0,072	0,59	1,44	2,12	44,3	75,0	5,0	4,5	5,4	6,6	2,8	4,8
-0,2+0,16	9,4	0,088	0,80	1,72	2,68	99,7	87,5	9,0	9,0	9,6	12,2	9,4	8,2
-0,16+0,1	11,2	0,096	1,00	1,96	2,08	94,2	106,3	11,7	13,4	13,0	11,3	10,5	11,9
-0,1+0,074	2,9	0,10	1,04	2,00	1,66	91,4	100,0	3,2	3,6	3,4	2,3	2,7	2,9
-	3,5	0,11	1,22	2,20	1,92	110,8	106,3	4,2	5,1	4,6	3,2	3,9	3,7
0,074+0,044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	6,2	0,13	1,44	2,32	2,32	138,5	118,8	8,8	10,6	8,5	7,0	8,6	7,4
0,044+0,020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	1,0	0,14	2,20	2,72	3,14	246,5	162,5	1,5	2,6	1,6	1,5	2,5	1,6
0,020+0,010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-0,010	11,9	0,076	0,78	1,16	2,12	41,6	81,3	9,9	11,1	8,2	12,2	4,9	9,7
□	100	0,09	0,84	1,69	2,07	100	100	100	100	100	100	100	100

მიღებული შედეგებიდან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ გრანულომეტრული მეთოდის გამოყენება მადნის გასამდიდრებლად ძვირფასი ან თუნდაც ფერადი ლითონების ამოღების მიზნით შედეგის მომტანი არ იქნება.

მძიმე სითხეებში დაკონცენტრირების პროცესის გამოკვლევის მიზნით მომზადდა სუსპენზია გრანულირებული ფეროსილიციუმის და მაგნეტიტის კონცენტრატის შემცველობით, მასური თანაფარდობით - 70:30 და მადნის დაწვრილმანების ხარისხით -50+6. მძიმე სითხის სიმკვრივე იცვლებოდა 2,72 გ/სმ<sup>3</sup>-დან 2,95 გ/სმ<sup>3</sup>-მდე. შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 4.

**ცხრილი 4. მძიმე სითხეებში გამდიდრების შედეგები**

ფრაქცია, გ/სმ <sup>3</sup>	გამოსავალი, %	შემცველობა, % (პირობითი ერთეული)						განაწილება, %					
		Cu	Pb	Zn	Fe	Au, (პ.ე.)	Ag, (პ.ე.)	Cu	Pb	Zn	Fe	Au	Ag
+2,95	4,6	0,64	4,34	14,81	5,17	99,5	125,9	42,1	28,1	40,6	13,6	4,6	5,8
-2,95+2,90	6,6	0,25	2,48	7,58	3,04	247,0	191,5	24,0	23,0	29,8	11,5	16,3	12,7
-2,90+2,85	4,7	0,09	1,16	1,03	2,36	236,6	175,1	6,1	7,7	3,9	6,3	11,1	8,3
-2,85+2,80	8,6	0,05	0,48	0,91	1,86	216,1	161,0	6,2	5,8	4,6	9,1	18,6	13,9
-2,80+2,75	31,9	0,023	0,39	0,60	1,56	76,1	147,9	10,6	17,5	10,3	28,4	24,3	47,2
-2,75+2,72	14,8	0,021	0,33	0,48	1,33	61,6	41,3	4,4	6,9	4,2	11,2	9,1	4,3
-2,72	28,8	0,016	0,27	0,38	1,21	55,6	27,4	6,6	11,0	6,6	19,9	16,0	7,9
□	100	0,07	0,71	1,68	1,75	100	100	100	100	100	100	100	100

მძიმე სითხეებით გამდიდრებამ გვიჩვენა, რომ ოქროს საკმაოდ დიდი ნაწილი თავს იყრის -2,95+2,80 ფრაქციაში. მასში თავმოყრილია მადანში

არსებული მთელი ოქროს 46% ანუ 130%-ით მეტი ვიდრე ეს თანაბარი განაწილების შემთხვევაში იქნებოდა. სიმკვრივის შემცირებასთან ერთად მცირდება ფრაქციაში ოქროს შემცველობა. თუ გავითვალისწინებთ, რომ +2.95 გ/სმ<sup>3</sup> ფრაქციაში ოქროს შემცველობა პრაქტიკულად მადნის საშუალო სინჯში მისი შემცველობის ტოლია - 100 პირობითი ერთეული, უნდა ითქვას, რომ ოქროს 50,6% თავს იყრის ფრაქციაში +2.80, რომელიც მთელი მასის მხოლოდ 24.5%-ს შეადგენს.

მიღებული შედეგების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ გამდიდრების გრავიტაციული მეთოდის გამოყენება მიზანშეწონილი შეიძლება გახდეს არა მარტო ოქროსთვის არამედ ფერადი ლითონებისთვისაც, კერძოდ ტყვიისა და თუთიისთვის.

იმის დასადასტურებლად, რომ მადანი ემორჩილება გრავიტაციული მეთოდით გამდიდრებას და შესაბამისად წინასწარ კონცენტრირებას, სინჯი დაწვრილმანების ხარისხით -2+0,16 გავატარეთ საკონცენტრაციო მაგიდაზე. ცდის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 5.

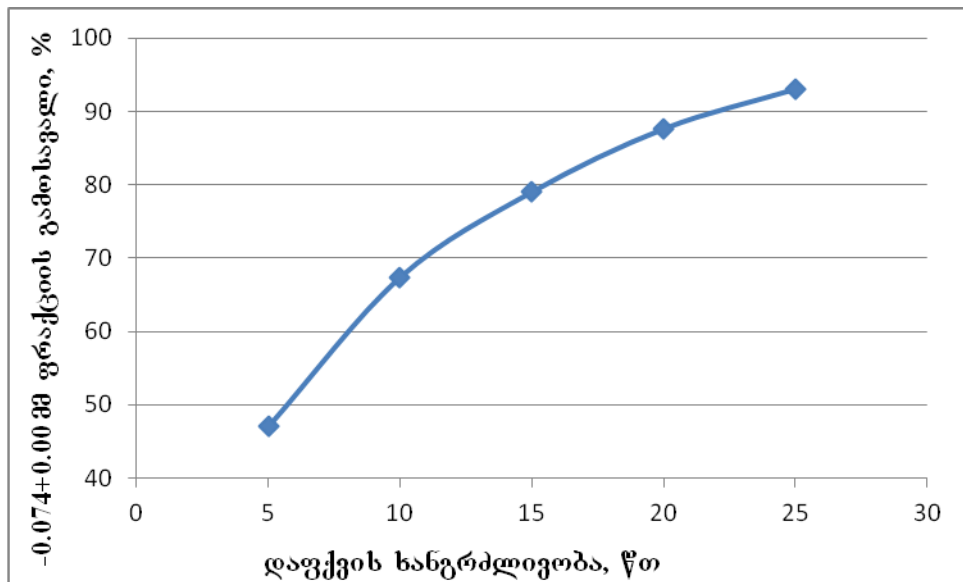
**ცხრილი 5. საკონცენტრაციო მაგიდაზე გამდიდრებით მიღებული შედეგები**

პროდუქტის დასახელება	გამოსავალი, %	შემცველობა, % (პირობითი ერთეული)						ამოკრეფა, %					
		Cu	Pb	Zn	Fe	Au, (პ.ე.)	Ag, (პ.ე.)	Cu	Pb	Zn	Fe	Au	Ag
კონცენტრატი	3,7	0,57	8,2	10,8	6,2	732,6	397,3	23,6	41,8	22,7	12,8	27,1	14,7
შუალედური პროდუქტი	77,9	0,08	0,49	1,61	4,71	80,98	93,5	69,8	52,6	71,1	74,5	63,0	72,8
კუდი	18,4	0,032	0,22	0,59	1,2	53,9	67,8	6,6	5,6	6,2	12,7	9,9	12,5
-2+0,16 მმ	100	0,09	0,73	1,76	1,78	100	100	100	100	100	100	100	100

ექსპერიმენტის შედეგები გვიჩვენებს, რომ მადანი ემორჩილება გრავიტაციულ გამდიდრებას.

სულფიდური მადნების გადამუშავებისთვის ყველაზე ეფექტურად და ფართოდ გამოიყენება ფლოტაციის მეთოდი. ფლოტაციის პროცესის ოპტიმიზაციისთვის აუცილებელია, მადნის დამსხვრევის ხარისხის განსაზღვრა, სამიზნე კომპონენტების ფლოტაციის უნარის გამოკვლევა, ოპტიმალური რეაგენტული რეჟიმის დადგენა და სხვა.

შევისწავლეთ მადნის დაწვრილმანების დროის გავლენა, ფლოტაციისას ფერად ლითონთა შემცველი მინერალების განაწილების ხასიათზე და მადნიდან მათი ამოწვლილვის ხარისხზე. საკვლევად ავიღეთ 1.00 მმ-მდე დაწვრილმანებული ტექნოლოგიური სინჯის ხუთი ულუფა და მოვახდინეთ თითოეული მათგანის დაფქვა ლაბორატორიულ ბურთულებიან წისქვილში, დაფქვის სხვადასხვა ხანგრძლივობით; მივიღეთ 5 საფლოტაციო სინჯი, მოვახდინეთ თითოეული მათგანიდან  $-0.074+0.00$  ფრაქციის გამოყოფა Restch-ის ფირმის საკრითი ანალიზის ხელსაწყოთი და განვსაზღვრეთ სინჯში ამ კლასის პროცენტული შემცველობა. შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 6-ზე.



ნახ. 6.  $-0.074$  ფრაქციის გამოსავლის დამოკიდებულება დაფქვის ხანგრძლივობაზე

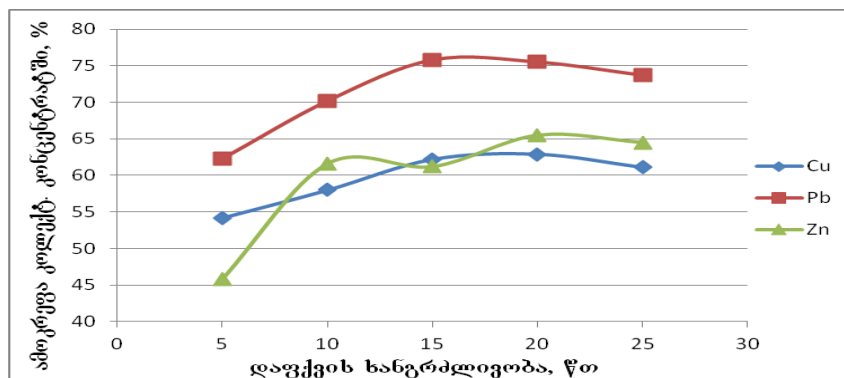
ზემოთ აღნიშნულ სინჯებზე ფლოტაცია ტარდებოდა ფლოტაციის კლასიკური სქემით. ფლოტაციის შედეგები ნაჩვენებია ცხრილ 6-ში, ხოლო ნახ. 7-ზე წარმოდგენილია კოლექტიურ კონცენტრატში მეტალების ამოკრეფის დამოკიდებულება დაფქვის ხანგრძლივობაზე.

ცხრილი 6-ის და ნახ. 7-ის მიხედვით, მეტალების შემცველობა და მათი ამოკრეფა კოლექტიურ კონცენტრატში იზრდება 87%(-0.074) კლასამდე. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ტყვიის მინიმალური შემცველობა 0,06% შეიმჩნევა კუდებში უხეში დაქუცმაცების 47%(-0,074) კლასში, ხოლო მომდევნო კლასებში მატულობს. ასეთ შემთხვევაში მიზანშეწონილია დაქუცმაცების და ფლოტაციის სტადიურად წარმოება, რათა გამოირიცხოს გალენიტის დაშლამება.

**ცხრილი 6. ფლოტაციის შედეგები მადნის სხვადასხვა სისხოზე დამსხვრევის დროს**

პროდუქტის დასახელება	გამოსავალი, %	შემცველობა, %			ამოკრეფა, %		
		Cu	Pb	Zn	Cu	Pb	Zn
<b>დაფქვის ხანგრძლივობა - 5 წთ (47% -0,074+0)</b>							
კოლექტ. კონც.	5,6	0,83	7,77	13,14	54,2	62,3	45,8
გადაწმენდის შ/პრ	6,8	0,27	2,82	7,76	21,4	27,5	32,8
I საკონტ/ფლ. შ/პრ	2,1	0,09	0,59	1,6	2,2	1,8	2,1
II საკონტ/ფლ. შ/პრ	2,5	0,10	0,38	6,7	2,9	1,3	10,5
კუდი	83,0	0,02	0,06	0,17	19,3	7,1	8,8
□	<b>100</b>	<b>0,086</b>	<b>0,7</b>	<b>1,61</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>დაფქვის ხანგრძლივობა - 10 წთ (67% -0,074+0)</b>							
კოლექტ. კონც.	5,28	1,0	9,9	18,33	58,0	70,2	61,6
გადაწმენდის შ/პრ	3,92	0,38	2,9	9,3	16,3	15,2	23,0
I საკონტ/ფლ. შ/პრ	3,12	0,14	0,76	2,1	4,8	3,2	4,1
II საკონტ/ფლ. შ/პრ	2,98	0,07	0,29	1,8	2,3	1,2	3,4
კუდი	84,70	0,02	0,09	0,16	18,6	10,2	8,5
□	<b>100</b>	<b>0,09</b>	<b>0,741</b>	<b>1,59</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>დაფქვის ხანგრძლივობა - 15 წთ (79% -0,074+0)</b>							
კოლექტ. კონც.	5,22	1,06	9,8	18,88	62,2	75,8	61,2
გადაწმენდის შ/პრ	3,35	0,28	2,2	8,29	10,5	10,6	17,3
I საკონტ/ფლ. შ/პრ	3,87	0,13	0,77	2,7	5,7	4,3	6,5
II საკონტ/ფლ. შ/პრ	2,85	0,08	0,36	4,0	2,6	1,5	7,1
კუდი	84,71	0,02	0,08	0,16	19,0	9,8	7,9
□	<b>100</b>	<b>0,089</b>	<b>0,7</b>	<b>1,61</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>დაფქვის ხანგრძლივობა - 20 წთ (87% -0,074+0)</b>							
კოლექტ. კონც.	5,28	1,09	10,4	20,09	62,9	75,5	65,5
გადაწმენდის შ/პრ	3,63	0,27	2,1	7,0	10,7	10,5	15,7
I საკონტ/ფლ. შ/პრ	3,96	0,13	0,67	2,5	5,6	3,6	6,1
II საკონტ/ფლ. შ/პრ	2,26	0,09	0,34	3,8	2,2	1,1	5,3
კუდი	84,87	0,02	0,08	0,14	18,6	9,3	7,4
□	<b>100</b>	<b>0,09</b>	<b>0,73</b>	<b>1,62</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>დაფქვის ხანგრძლივობა - 25 წთ (93% -0,074+0)</b>							
კოლექტ. კონც.	5,02	1,06	10,2	20,61	61,1	73,7	64,5
გადაწმენდის შ/პრ	3,92	0,23	1,8	6,2	10,3	10,1	15,2
I საკონტ/ფლ. შ/პრ	4,87	0,13	0,63	2,6	7,3	4,4	7,9
II საკონტ/ფლ. შ/პრ	1,86	0,09	0,32	4,4	1,9	0,9	5,1
კუდი	84,33	0,02	0,09	0,14	19,4	10,9	7,3
□	<b>100</b>	<b>0,087</b>	<b>0,7</b>	<b>1,6</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

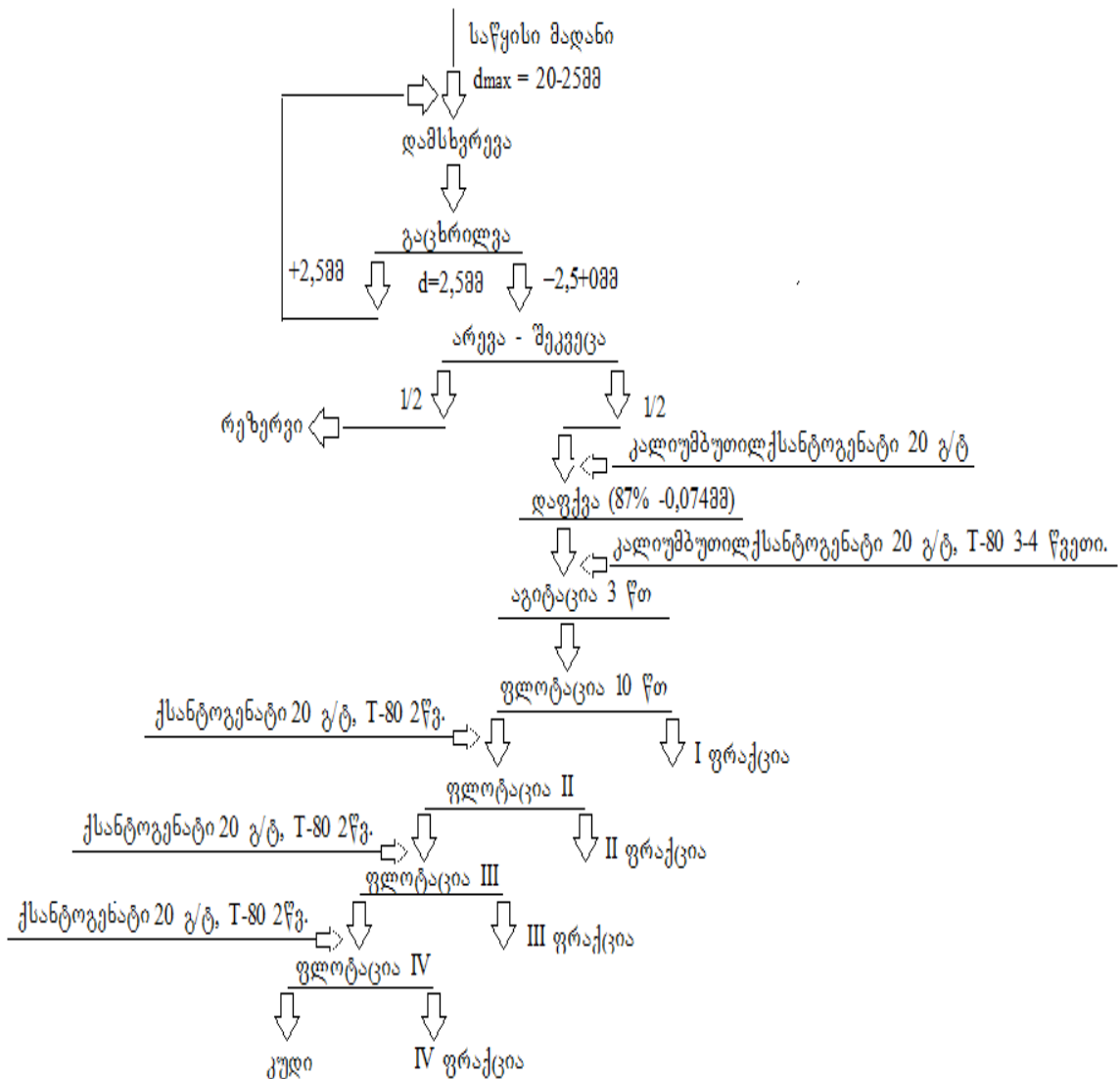
**ნახ. 7. მეტალების ამოკრეფის დამოკიდებულება დაფქვის ხანგრძლივობაზე**



ნახ. 7-ზე ნათლად ჩანს, რომ კოლექტიურ კონცენტრატში მეტალების ამოკრეფა იზრდება დაფქვის ხანგრძლივობის 5-დან 20 წთ-მდე გაზრდით, ხოლო შემდეგ მცირდება, აღნიშნულიდან გამომდინარე 20 წთ არის დაფქვის ოპტიმალური ხანგრძლივობა (87% -0,074+0 მმ).

ბექთაქარის საბადოს ოქრო-პოლიმეტალურ მადანში არსებული ოქროს ფლოტაციის უნარის გამოკვლევისთვის ავიღეთ სამი სხვადასხვა ოქროს შემცველი ნიმუში. საფლოტაციო რეაგენტებად გამოვიყენეთ კალიუმის ბუთილქსანტოგენატი (შემკრები) და T-80 (ამქაფებელი).

საკვლევი სინჯების საფლოტაციოდ მომზადება და ფლოტაციის სქემა წარმოდგენილია ნახ. 8-ზე, ხოლო ფლოტაციის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილ 7-ში.



ნახ.8. საკვლევი სინჯების საფლოტაციოდ მომზადება და ფლოტაციის სქემა

**ცხრილი 7. ფლოტაციის შედეგები**

	სინჯის დასახელება	ფლოტაციის პროდუქტები	პროდუქტის გამოსავალი, %	შემცველობა, გ/ტ	ამოკრეფა, %
1	A-1	I ფრაქცია	48,2	9,63	33,3
		II ფრაქცია	15,0	45,13	48,56
		III ფრაქცია	2,3	37,71	6,2
		IV ფრაქცია	2,1	14,90	2,24
					90,3%
		კუდი	32,4	4,174	9,7
				100	13,94
2	A-2	I ფრაქცია	27,3	37,15	75,2
		II ფრაქცია	8,2	10,678	6,5
		III ფრაქცია	5,5	5,935	2,4
		IV ფრაქცია	1,8	3,761	0,5
					84,6%
		კუდი	57,2	3,651	15,4
				100	13,48
3	A-3	I ფრაქცია	21,5	16,93	65,12
		II ფრაქცია	16,6	7,232	21,48
		III ფრაქცია	10,9	3,058	5,96
					92,56%
		კუდი	51,0	0,816	7,44
				100	5,59

ბექთაქარის პოლიმეტალური საბადოდან აღებული სინჯების ფლოტაციამ გვიჩვენა, რომ მადანში არსებული ოქრო ემორჩილება ფლოტაციური მეთოდით გამდიდრებას, კერძოდ A-1 სინჯიდან შესაძლებელია ოქროს 90,3%-ის, A-2 სინჯიდან - 84,6%-ის, ხოლო A-3 სინჯიდან - 92,56%-ის ამოღება.

ჩავატარეთ ტექნოლოგიური ცდები მადნის ფლოტაციური თვისებების შესაფასებლად 87% -0.074მმ-მდე დაფქვულ მადანზე. ცდების დროს ქსანტოგენატის (60გ/ტ) და ქაფწარმომქმნელის (T-80 40გ/ტ) ხარჯი იყო მუდმივი, ხოლო გამოსაცდელი რეაგენტების ხარჯი იცვლებოდა ნულიდან მაქსიმალურამდე, რაც გამოიყენება მსგავსი მადნების ფლოტაციაში.

ფლოტაციის შედეგებზე სხვადასხვა რეაგენტების ხარჯის გავლენის კვლევის საფუძველზე შეიძლება გამოვიტანოთ შემდეგი დასკვნები.

1. ტყვიისა და ტყვია-სპილენძის კონცენტრატის მისაღებად აუცილებელია თუთიის მინერალების დეპრესია, ამ პროცესს განაპირობებს შემდეგი რეაგენტები:

- კირი 3-დან 5კგ/ტ-მდე ხარჯით.
- ნატრიუმის სულფიდი 50-დან 250 გ/ტ-მდე ხარჯით.
- თუთიის სულფატი ხარჯით 250-500გ/ტ ან 250 გ/ტ ნატრიუმის სულფიტთან ერთად.

- ნატრიუმის ცინკატი (20-40 გ/ტ) განსაკუთრებით ნატრიუმის სულფიდთან ერთად ხარჯით 100 გ/ტ ან თუთიის სულფატთან ერთად - 250-500 გ/ტ.

- კალიუმის მანგანატი ხარჯით მეტი 100 გ/ტ-ზე.

2. ტყვიის კონცენტრატის ხარისხის გაუმჯობესება სპილენძის მინერალების დეპრესიის ხარჯზე, რისთვისაც შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას შემდეგი რეაგენტები:

- ნატრიუმის სულფიდი ხარჯით 100-250 გ/ტ.

- თხევადი მინა 100 გ/ტ ხარჯით.

- კალიუმის მანგანატი ხარჯით 100-2500 გ/ტ.

- გოგირდმჟავა 1000 გ/ტ ხარჯით.

3. ტყვიის დეპრესია შეიმჩნევა კალიუმის ბიქრომატის 500-დან 1000 გ/ტ-მდე ხარჯისას.

4. სფალერიტის ფლოტაციის აქტივაციისათვის სპილენძის სულფატის ხარჯი შეადგენს 200-250 გ/ტ-ს.

წინამდებარე კვლევების საფუძველზე დადგენილია, რომ მადანი სამრეწველო მნიშვნელობით შეიცავს ოქროს, ვერცხლს, ტყვიას და თუთიას. ტყვია და თუთია ძირითადად სულფიდების სახით არის წარმოდგენილი (90.1% და 86.6% შესაბამისად) მადანში, ოქროს მნიშვნელოვანი ნაწილი (31%) კი თავისუფალი სახით გვხვდება.

ციანიდების მეთოდით მადნის გადამუშავების კვლევამ გვიჩვენა, რომ 3 სინჯიდან ოქროს ამოწვლილვა არ მოხდა, ხოლო დანარჩენი სინჯებიდან ამოიკრიფა 10-დან 33%-მდე.

მადნის ფლოტაციური თვისებების შესწავლამ გვიჩვენა, რომ მასში არსებული ოქროს 85%-ს და მეტს ფლოტირების უნარი გააჩნია. მადნის ოპტიმალურ სისხომდე (87% -0.074მმ) დამსხვრევის პირობებში კოლექტიურ კონცენტრატში საკმაოდ მაღალი ამოკრეფის ხარისხით ხასიათდებიან ფერადი ლითონები (Cu-62.9%, Pb-75.5%, Zn-65.5%).

ზემოაღნიშნული შედეგები მიგვანიშნებს, რომ ბექთაქარის-ოქრო პოლიმეტალური მადნისთვის გადამუშავების ოპტიმალური მეთოდი ფლოტაცია უნდა იყოს. თუმცა გადამუშავების ტექნოლოგიის შემუშავებისას აუცილებლად უნდა გავითვალისწინოთ მადანში 31% თავისუფალი ოქროს არსებობა, მისი

დიდი ნაწილი შეიძლება დაიკარგოს ფლოტაციის პროცესში (თავისუფალ ოქროს მაღალი სიმკვრივის გამო აქვს ტენდენცია ჩამოვარდეს ჰაერის ბუშტულაკიდან), რომელიც მრავალრიცხოვანი ოპერაციებით გამოირჩევა. აქიდან გამომდინარე მიზანშეწონილად მივიჩნით თავდაპირველად მოგვებდინა მადნის ციანირება (თავისუფალი და თავისუფალი ზედაპირის მქონე ოქროს ამოსაღებად) შემდეგ კი ციანირების კუდების ფლოტაცია.

გამომდინარე იქიდან, რომ პოლიმეტალური მადნების ფლოტაციის პრაქტიკაში ყველაზე ფართოდ და ეფექტურად კოლექტიურ-სელექციური სქემები გამოიყენება, ჩვენს მიერ შემუშავებული ოქრო-პოლიმეტალური მადნის გადამუშავების ტექნოლოგიაც ციანირებას და კოლექტიურ-სელექციურ ფლოტაციას ემყარება.

ჩვენს მიერ შესრულებული კვლევების და მიღებული შედეგების ანალიზის საფუძველზე შედგენილი ოქრო-პოლიმეტალური მადნის გადამუშავების ტექნოლოგიური სქემა და რეაგენტული რეჟიმი მოცემულია ნახ. 9-ზე, ხოლო აღნიშნული ტექნოლოგიური სქემის გამოყენებით ბექთაქარის მადნის გადამუშავებისას მიღებული შედეგები - ცხრილში 8.

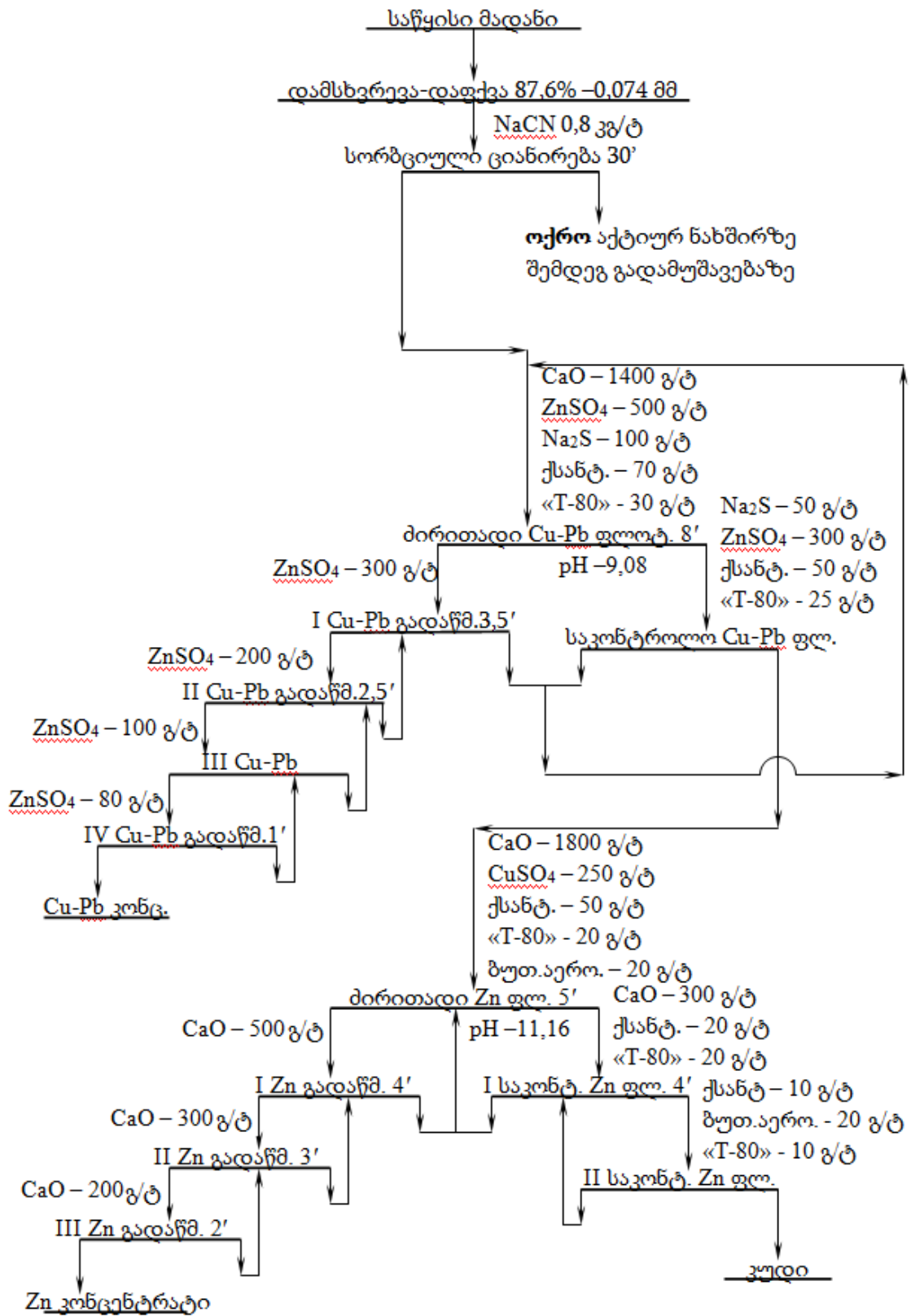
**ცხრილი 8. ბექთაქარის ოქრო-პოლიმეტალური მადნის გადამუშავების ტექნოლოგიური მაჩვენებლები**

პროდუქტი	გამოს. %	შემცველობა,%			ამოკრეფა,%				
		Cu	Pb	Zn	Au	Ag	Cu	Pb	Zn
ციანხსნარში		0,02	0,11	0,23	28,4	5,3	6,8	6,2	7,1
Au-კონც.	0,97	2,56	9,7	1,63	27,5	31,6	35,5	12,7	3,0
Pb-კონც.	1,11	1,19	43,5	10,42	20,8	23,3	19,0	65,2	4,5
Zn-კონც.	2,36	0,41	1,16	51,32	15,1	15,4	14,0	3,7	74,3
კუდი	95,56	0,02	0,09	0,19	8,2	25,3	24,7	12,2	11,1
საწყისი მადანი	100	0,07	0,74	1,63	100	100	100	100	100

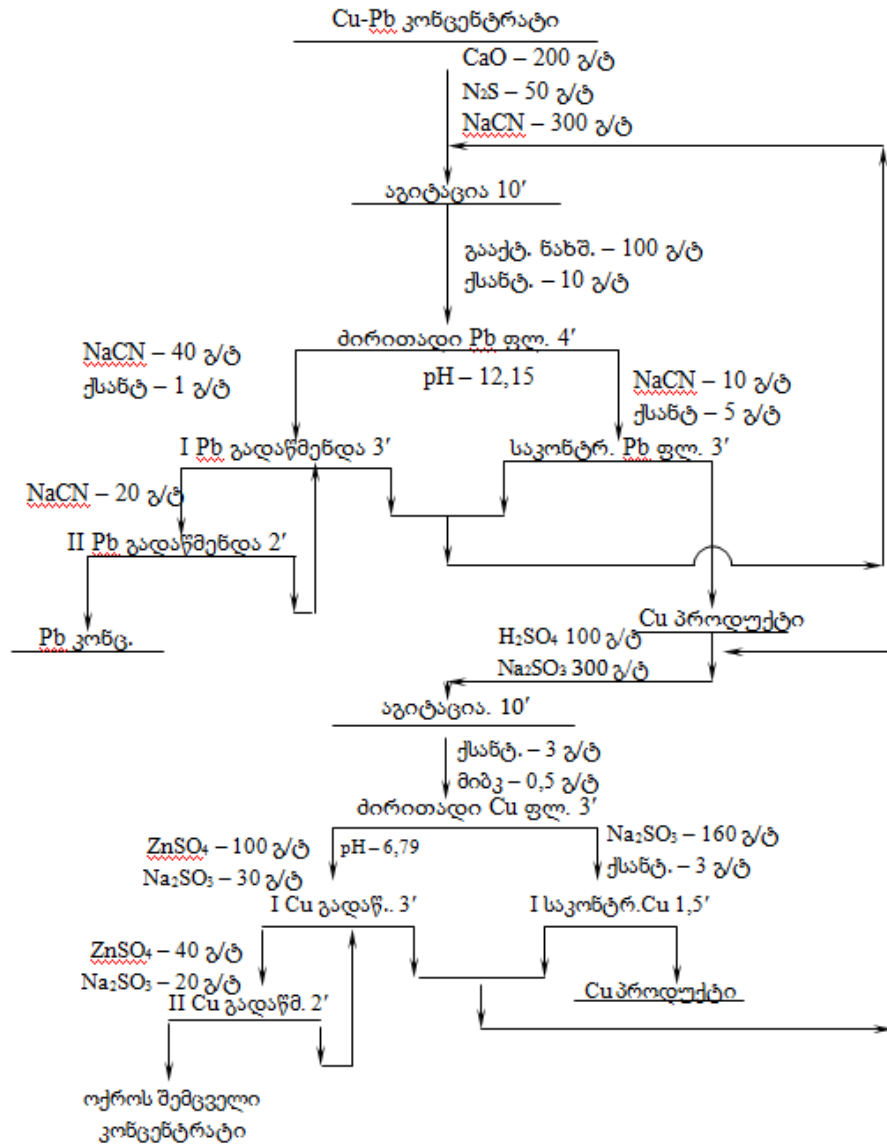
შემუშავებული ტექნოლოგიით თავდაპირველად ხდება მადანში არსებული ოქროს 28%-ის ამოკრეფა ციანირებით, ხოლო ციანირების კუდების ფლოტაციით მიიღება:



ა) ოქროს-შემცველი კონცენტრატი, რომელშიც ოქროს 27,5% ამოიკრიფება, ხოლო ვერცხლის - 31,6%.



ნახ. 9. ბექთაქარის ოქრო-პოლიმეტალური მადნის გადამუშავების ტექნოლოგიური სქემა



### ნახ. 9. გაგრძელება

ბ) ტყვიის კონცენტრატი, ტყვიის შემცველობით 43,5% ამოკრეფით 65,2%, ოქროს ამოკრეფა კონცენტრატში შეადგენს 20,8%-ს, ხოლო ვერცხლის 23,3%-ს.

გ) თუთიის კონცენტრატი, თუთიის შემცველობით 51,32%, ხოლო ამოკრეფით 74,3%. ოქროს ამოკრეფა კონცენტრატში შეადგენს 15,1%-ს, ხოლო ვერცხლის 15,4%-ს.

ამრიგად ჩვენს მიერ შემუშავებული სქემა გამორიცხავს თავისუფალი ოქროს კარგვას გადამუშავების ოპერაციებში და საშუალებას აძლევს საწარმოს ადგილზე მიიღოს სასაქონლო პროდუქცია დორეს შენადნობის სახით და კონდიციური კონცენტრატები. ასეთი მიდგომა ეკონომიკურად გამართლებულია.

## დასკვნა

■ გამოკვლეულია ბექთაქარის საბადოს მადნის ქიმიური შედგენილობა. დადგენილია, რომ საბადოდან აღებული სხვადასხვა ნიმუშები ოქროს, ვერცხლის და ფერადი ლითონების შემცველობის თვალსაზრისით მნიშვნელოვნად განსხვავდება ერთმანეთისგან. სპილენძი უმნიშვნელო რაოდენობით იმყოფება მადანში, მას სამრეწველო მნიშვნელობა არ გააჩნია და არც არსებითი გავლენა არ შეუძლია იქონიოს მადნიდან ოქროს ამოწვლილვის ტექნოლოგიურ პროცესზე. მადანი შედარებით დიდი რაოდენობით შეიცავს ტყვიას და თუთიას, მათი შემცველობა მეტწილად 10-ჯერ და მეტად აღემატება სპილენძის შემცველობას, ისინი სამრეწველო მნიშვნელობით ხასიათდებიან და უნდა გავითვალისწინოთ მადნიდან ძვირფასი ლითონების - ოქროსა და ვერცხლის ამოწვლილვის ტექნოლოგიური სქემის შემუშავებისას.

■ ბექთაქარის საბადოზე დადგენილია მადნის ორი ტიპის არსებობა: ოქრო-მცირედ სულფიდური დაჟანგული და ოქრო-პოლიმეტალური.

■ გამოკვლეულია ბექთაქარის საბადოს მადნებიდან ციანიურების მეთოდით ოქროს ამოწვლილვის პროცესი. დადგენილია, რომ საბადოზე არსებული ოქრო-მცირედ სულფიდური დაჟანგული მადანი ემორჩილება აღნიშნული მეთოდით გადამუშავებას.

■ გამოკვლეულია ბექთაქარის საბადოს ოქრო-პოლიმეტალური მადნის ელემენტური და ფაზური შედგენილობა. დადგენილია, რომ მადნის ძირითადი შემადგენელი კომპონენტია კვარცი და სილიკატური ნაერთები. სულფიდური ფორმით წარმოდგენილი ფერადი ლითონების ხვედრითი წილი დიდია მათ სხვა ფორმებთან შედარებით.

■ გამოკვლეულია ბექთაქარის საბადოს ოქრო-პოლიმეტალურ მადანში ოქროს და ვერცხლის არსებობის ფორმები. დადგენილია, რომ ძვირფასი ლითონები წარმოდგენილია როგორც თავისუფალი ისე შენაზარდების და ასოცირებული ფორმით. ძვირფასი ლითონების სხვადასხვა ფორმით არსებობა გათვალისწინებული უნდა იყოს მადნის გადამუშავების ტექნოლოგიური სქემის შემუშავებისას. ოქროს შემცველობის მიხედვით მადანი კონდიციურია და მისგან

ოქროს, ვერცხლის და ფერადი ლითონების მიღება ეკონომიკურად გამართლებული მიგვაჩნია.

■ გამოკვლეულია ბექთაქარის საბადოს ოქრო-პოლიმეტალური მადანის ფიზიკური მეთოდებით გამდიდრების პროცესი. დადგენილია, რომ გრანულომეტრული ანალიზის შედეგად ოქროს და ვერცხლის განაწილება ფრაქციებში, პრაქტიკულად მასური წილების პროპორციულია და ამ გზით მადნის გამდიდრება ძვირფასი ან თუნდაც ფერადი ლითონების ამოღების მიზნით შეუძლებელია.

■ შესწავლილია მძიმე სითხეებში მადნის გამდიდრების პროცესი. დადგენილია, რომ მძიმე სითხეებით გამდიდრებას ემორჩილება როგორც ოქრო და ვერცხლი ისე ფერადი ლითონები: სპილენძი, ტყვია, თუთია.

■ საკონცენტრაციო მაგიდაზე მადნის გამოცდამ გვიჩვენა, რომ მადანი პრაქტიკულად ემორჩილება გრავიტაციული მეთოდით გამდიდრებას.

■ გამოკვლეულია ბექთაქარის საბადოს ოქრო-პოლიმეტალური მადანის შედგენილობაში შემავალი ოქროს, სპილენძის, ტყვიის და თუთიის მინერალების ბუნებრივი ფლოტაციის უნარი.

■ გამოკვლეულია სხვადასხვა რეაგენტების ხარჯის გავლენა ქაფურ პროდუქტში ფერადი მეტალების ამოკრეფაზე. დადგენილია ფლოტაციის ოპტიმალური რეაგენტული რეჟიმი.

■ შემუშავებულია ბექთაქარის საბადოზე არსებული მადნის ორივე ტიპისთვის გადამუშავების ოპტიმალური ტექნოლოგიური პროცესი. კერძოდ ოქრო-მცირედ სულფიდური დაჟანგული მადნების გადამუშავება შესაძლებელია, მათი 2.5 მმ-მდე დამსხვრევით და შემდეგ პირდაპირი ციანირებით (გროვული გამოტუტვა), ხოლო რაც შეეხება ოქრო-პოლიმეტალურ მადნებს, მათი დამსხვრევა უნდა მოხდეს 0,074 მმ-მდე (87.6%), შემდეგ კი გადამუშავების ტექნოლოგიური პროცესი ორ ეტაპად უნდა წარიმართოს. თავდაპირველად ციანირებით უნდა ამოიწვლილოს თავისუფალი და თავისუფალი ზედაპირის მქონე ოქრო (გადამუშავების პროცესში ციანირების ჩართვა მნიშვნელოვანია იმით, რომ ფლოტაციის დროს თავისუფალი ოქროს მნიშვნელოვანი რაოდენობის კარგვა ხდება), შემდეგ კი უნდა მოხდეს ციანირების კუდების ფლოტაცია.

**დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ  
შრომებში**

1. შერაზადიშვილი ზ., მჭედლიშვილი მ., შეყრილაძე ნ. ტყვისა და თუთიის ბუნებრივი ფლოტაციის უნარის გამოკვლევა. საქართველოს ქიმიური ჟურნალი. 2013, 13, 2, გვ. 12-17.
2. შერაზადიშვილი ზ., მჭედლიშვილი მ., შეყრილაძე ნ. ოქროს შემცველი მადნის ელემენტური და ფაზური შედგენილობის გამოკვლევა. კერამიკა. 2014, 1(31), გვ. 12-15
3. შერაზადიშვილი ზ., მჭედლიშვილი მ., შეყრილაძე ნ. ტყვისა და თუთიის შემცველი ოქროს მადნის ფიზიკური მეთოდით გამდიდრების პროცესის გამოკვლევა. კერამიკა. 2014, 1(31), გვ. 7-11.
4. შერაზადიშვილი ზ., მჭედლიშვილი მ., შეყრილაძე ნ. ოქროს შემცველი მადნების ქიმიური შედგენილობის გამოკვლევა. საქართველოს ტექნიკური უნივერსი-ტეტის შრომები. 2014, 1(491)

## Abstract

In the thesis the issues of development of optimal technology for extracting precious metals from the ores of Bektakari deposit have been considered.

The chemical composition of the Bektakari deposit's ore has been explored. It has been established that the various ore samples significantly differ from each other by gold, silver and non-ferrous metal content. In addition, there is some correlation dependence between the concentrations of gold and nonferrous metals. The copper is found in small amounts in the ore, which does not have commercial value and cannot have a significant impact on the technological process of gold recovery from the ore. The ores contain relatively large amounts of lead and zinc, which have economical value and should be considered in developing technological scheme for recovery of precious metals - gold and silver -from the ore.

The two types of ore - gold-low-sulfide, rusty and gold-polymetallic - have been established on the Bektakari deposit.

Investigation of elemental and phase composition of Bektakari deposit's gold-polymetallic ore has shown that non-ferrous metals: copper, lead and zinc are found in sulfide form in the ore. According gold content the ore is amenable, and extraction of gold, silver and non-ferrous metals from it, we conceive to be economically sound.

The existing forms of gold and silver in gold-polymetallic ore of Bektakari deposit have been researched. It has been established that the precious metals occur in free form as well as in intergrown and associated forms. The existence of different forms of precious metals should be taken into account in developing the technological scheme for the ore processing.

The treatment process of Bektakari deposit's gold - polymetallic ore by physical methods have been studied. It is established that the particle-size distribution of gold and silver by granulometric analysis is practically proportional to the mass contents and ore processing for extraction of precious or even non-ferrous metals is impossible.

The concentration table tests have shown that ore is practically separable by gravity method.

The natural flotation ability of gold, copper, lead and zinc minerals included in Bektakari deposit's gold - polymetallic ore has been investigated.

The effect of different reagents consumption on removing nonferrous metals in froth has been investigated. The optimal reagent mode of flotation has been determined.

It has been developed the optimal technological process for the processing of both types of ore on Bektakari deposit. The processing of gold-low-sulfide, rusty ore is possible by direct cyanidation method (heap leaching), and as for gold-polymetallic ores, the technological process of their refining should be carried out in two phases. At first it should be removed free and free surface gold (including of cyanidation in processing is important because a significant amount of free gold is lost during flotation), then follows flotation of the cyanidation tailings.