

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ირმა სამხარაძე

ბნელი ხევის საბადოს ოქროს შემცველი მცირესულფიდური მადნების
გადამუშავების ტექნოლოგიის შემუშავება

სადოქტორო პროგრამა:სამთო ტექნოლოგიები

შიფრი:0724

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2020 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტი
სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი

თანახელმძღვანელები: პროფესორი რევაზ სტურუა
ემერიტუსი, ტმკზაურ არაბიძე

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება 2020 წლის ”_ _ _ _ _” _ _ _ _ _ , _ _ _ _ _ საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამთო ტექნოლოგიებისა
და უსაფრთხოების ინჟინერიის საუნივერსიტეტო სადისერტაციო
საბჭოს სხდომაზე,
კორპუსი_ _ _ _ _ , აუდიტორია_ _ _ _ _
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

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

საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,
ასოცირებული პროფესორი

დ. თევზაძე

შესავალი

თემის აქტუალობა: საქართველოს ეკონომიკის განვითარება დამოკიდებულია სამთო, ქიმიური და მეტალურგიული დარგების აღორძინებაზე და შემდგომ განვითარებაზე. წიაღისეულის გადამამუშავების, ბუნებრივი რესურსების გამოყენება და გამდიდრების დროს სასარგებლო კომპონენტის დანაკარგების, წარმოების ნარჩენების გარემოზე მავნე ზემოქმედების შემცირება დაკავშირებულია ახალი ტექნოლოგიური პროცესების შემუშავებასა და არსებული ტექნოლოგიური სქემების სრულყოფასთან. ოქროს და ფერადი ლითონების შემცველი საბადოების მარაგების შემცირება და ამასთან მზარდი ფასები და მოთხოვნები ოქროზე, სამთო-მოპოვებითი და გადამამუშავებელ კომპანიებს სტიმულს აძლევს, რომ მუდმივად ეძებონ ახალი საბადოები და უკვე მოქმედი საბადოების კომპლექსურად გადამამუშავების ეფექტური გზები. ამჟამად, საქართველოში ინტენსიურად მიმდინარეობს გეოლოგიური სამუშაოები ოქროს შემცველი საბადოების დაძიებისა და შემდგომი ათვისების მიზნით. ერთ – ერთი ასეთი საბადო არის ბნელი ხევის საბადო. იგი ოქროს შემცველი მადნების საკმაო მარაგებით არის წარმოდგენილი. შერჩეული და შემუშავებული ტექნოლოგიური სქემა უნდა უზრუნველყოფდეს ოქროს ამოწვლილვის მაღალ მაჩვენებელს ეკოლოგიური პრობლემების გათვალისწინებით, ნედლეულის კომპლექსურ გამოყენებას მატერიალური, ენერგეტიკული და სამუშაო რესურსების მინიმალურ დანახარჯებს და რაც არა ნაკლებ მნიშვნელოვანია, გარემოს მინიმალურ დაბინძურებას საწარმოს ნარჩენებით. სასარგებლო წიაღისეულის ეფექტური გადამამუშავება დამოკიდებულია რიგ საკითხებზე, როგორცაა: გადამამუშავების შედეგად მიღებული პროდუქტის თვითღირებულება, პროდუქტის ხარისხი, პროდუქტის კონდიციურობა, მადნიდან სასარგებლო კომპონენტის კომპლექსური და სრული ამოკრეფა.

აღნიშნული საკითხების კვლევა ძალზედ აქტუალურია იმის გათვალისწინებით, რომ საქართველოში ძირითადად მცირე და დაბალი

ხარისხის მადნის შემცველი საბადოები გვაქვს. ერთ-ერთი ასეთია ბნელი ხევის საბადო.

სამუშაოს მიზანი. სადისერტაციო სამუშაოს მიზანია ბნელი ხევის საბადოს ოქროს შემცველი მადნების გამდიდრების კომპლექსური, რაციონალური ტექნოლოგიური სქემის შემუშავება, ოქროს მაქსიმალური ამოკრეფით, საწარმოო პროცესების გარემოზე მინიმალური ზემოქმედების პირობებში.

კვლევის ძირითადი ამოცანები:

1. ბნელი ხევის საბადოს ოქროს შემცველი საწყისი მადნების და შუალედური პროდუქტების გრავიტაციული, ფლოტაციური და ჰიდრომეტალურგიული მეთოდებით გამდიდრებადობაზე კვლევა, ოპტიმალური პარამეტრების დადგენით.
2. კვლევის შედეგად დადგენილი კანონზომიერებათა გამოყენების შესაძლებლობის პერსპექტივების დადგენა, ბნელი ხევის საბადოს ანალოგიური მადნების გამდიდრების ტექნოლოგიური სქემების დამუშავების დროს.

თემის მეცნიერული სიახლე: სადისერტაციო თემის კვლევის სფერო მოიცავს შემდეგი სახის მეცნიერულ სიახლეს: ბნელი ხევის საბადოს ოქროს შემცველი მცირესულფიდური და სხვა ანალოგიური საბადოების მადნებისთვის, გამდიდრების გრავიტაციულ-ჰიდრომეტალურგიული ტექნოლოგიების ოპერაციათა განსაზღვრული თანმიმდევრობის და ტექნიკური პარამეტრების დადგენის საფუძველზე, პირველად არის შემუშავებული კომბინირებული ტექნოლოგიური სქემა და ამ კომბინირების ძირითადი კანონზომიერებები.

კვლევის მეთოდიკა. კვლევის პროცესში გამოყენებული იქნა გამდიდრების გრავიტაციული, ფლოტაციური და ჰიდრომეტალურგიული მეთოდები,

მინერალოგიური შედგენილობის მიკროსკოპული შესწავლით დადგენილია მადანში ოქროს არსებობის ფორმები, გოგირდის არსებობის

მინერალური ფორმების განსაზღვრა მოხდა ფაზური ქიმიური ანალიზის საფუძველზე, ოქროს შემცველობა საწყის მადანში და გამდიდრების პროდუქტებში განისაზღვრა სტანდარტული ქიმიური ანალიზით და ატომურ-აბსორბციული მეთოდით.

შედეგების გამოყენების სფერო: სამუშაოს მიზნებიდან და ამოცანებიდან გამომდინარე შესრულებული კვლევის შედეგების გამოყენება შესაძლებელია საფუძვლად დაედოს ბნელი ხევის ოქროშემცველი მადნების საბადოს კომპლექსური დამუშავების საინვესტიციო პროექტს. მეცნიერული თვალსაზრისით პროექტში მიღებული შედეგები მნიშვნელოვანი იქნება საბადოს არსებობის გრძელვადიან პერსპექტივაში, რეგიონის სოციალურ-ეკონომიური ინფრასტრუქტურის დაგეგმვის და ეკოლოგიური უსაფრთხოების თვალსაზრისით. მიღებული შედეგები შესაძლებელია გამოყენებული იქნას სხვა მსგავსი ტიპის ბუნებრივი წიაღისეულის კომპლექსური ათვისების დროს.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაცია შედგება შესავლის, 4 თავის, დასკვნისა და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისგან. ნაშრომი წარმოდგენილია 104 ნაბეჭდ გვერდზე, მათ შორის 7 ნახაზი, 26 ცხრილი, 14 სურათი, 61 დასახელების ლიტერატურა.

თავი 1. ოქროს შემცველი სულფიდური მადნების გადამუშავების თანამედროვე მდგომარეობა

ოქროს მადნების გადამუშავების პროცესში გამოიყენება გამდიდრების როგორც მექანიკური, ისე ჰიდრომეტალურგიული ხერხები. გამდიდრების მეთოდის შერჩევა ხდება მისი ტექსტურულ-სტრუქტურული თვისებიდან გამომდინარე.

მცირესულფიდური ოქროს შემცველი მადნები უმეტესწილად მოითხოვს გრავიტაციული კონცენტრირების, ციანირების და ფლოტაციის კომბინაციას. მსხვილმარცვლოვანი ოქროს შემცველი მადნებიდან ოქროს

ამოკრეფისთვის გამოყენებულ გრავიტაციულ და ფლოტაციურ მეთოდებს, რასაც ფლოტაციის კონცენტრატის ციანირება მოსდევს. ზოგ შემთხვევაში ახდენენ ციანირების პროცესის ნარჩენების ფლოტაციას. რეაგენტების კომბინაცია, რომელიც ფლოტაციაში გამოიყენება დამოკიდებულია მადანში არსებული ფუჭი ქანის ბუნებაზე. ყველაზე ხშირად კოლექტორებიდან გამოიყენება ქსანტოგენატები, დიოფოსფოტები და მერკაფტანები. სასურველი pH-ის რეგულირებას ახდენენ სოდის ფხვნილით, რომელიც მოქმედებს როგორც დისპერსანტი და ასევე, როგორც კომპლექსწარმომქმნელი რეაგენტი, ქაფწარმომქმნელის ტიპი ასევე მნიშვნელოვანია თვითნაბადი ოქროს და ოქროს მატარებელი სულფიდების ფლოტაციაში. გლიკოლის რთულ ეთერებს და ციკლურ სპირტებს (ფიჭვის ზეთი) მნიშვნელოვნად შეუძლია გააუმჯობესოს ოქროს ამოკრეფა. დღეისათვის ციანირება არის ოქროს ამოღების დომინანტური მეთოდი. გამომტუტავ აგენტად იყენებენ ნატრიუმის ან კალიუმის ციანიდის განზავებულ ხსნარებს, რომლებსაც ჰიდროლიზის უნარი აქვთ და შესაბამისად ციანწყალბადის გამოყოფის თავიდან ასაცილებლად დამატებული აქვს ნატრიუმის ტუტის გარკვეული რაოდენობა ($\approx 2\%$). გროვული გამოტუტვა რეკომენდებულია დაბალხარისხიანი მადნების ($Au_{1,2g/t}$) გადასამუშავებლად. ამაღამაცია გამოიყენება თავისუფალი და თავისუფალი ზედაპირის მქონე ოქროს ამოსაღებად ვერცხლისწყლის ამაღამაში გადაყვანის გზით. ვერცხლიწყალის მაღალი ტოქსიკურობის გამო ეს პროცესი სამრეწველო მასშტაბით არ გამოიყენება. ამ მეთოდს მხოლოდ ისტორიული მნიშვნელობა აქვს.

ბიოლოგიური მეთოდი ყველაზე მისაღებია გარემოსდაცვითი თვალსაზრისით. ეს არის ე.წ. ბიოჰიდრომეტალურგიული პროცესი, ანუ წყლიან გარემოში მიკროორგანიზმების მონაწილეობით მიმდინარე პროცესი. ეს მეთოდი ემყარება ზოგიერთი მიკროორგანიზმის (ბაქტერია, სოკო) თვისებას გამოიმუშაოს ციანიდი, რაც იძლევა გამოტუტვის განხორციელების საშუალებას. ამ მეთოდით შესაძლებელია არა მხოლოდ

ოქროს, არამედ სხვა ძვირფასი ლითონების–სპილენძის, ნიკელის, თუთიის, დარიშხანის და ა.შ. მიღება.

ოქროს წარმოების გაფართოებაში ღარიბი ნედლეულის ათვისების მიზნით დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მათი განლაგების ადგილზე მადნების ფილტრატული გამოტუტვის პროგრესულ მეთოდებს (მიწისქვეშა გამოტუტვა), გროვებში და როფებში (გროვითი და პერკოლაციური გამოტუტვა) ამ მეთოდების არსი დაიყვანება გამხსნელის ფილტრაციაზე პროდუქტიული ფენით, მასალის გროვით როფული დატვირთვით ძვირფასი კომპონენტების ხსნარში გადაყვანის მიზნით. ოქროს ფილტრაციული გამოტუტვისას შესაძლებელია ციანოვანი ხსნარების გამოყენება, მაგრამ მხოლოდ მადნების ხელსაყრელი შემადგენლობისას და პირობებში, როდესაც გამორიცხულია ხსნარების გადინება (რაფული, გროვითი და იშვიათ მიწისქვეშა გამოტუტვა). ოქროს დაბალტოქსიკური გამხსნელებიდან ყურადღებას იმსახურებენ თიოშარდოვანას მჟავა ხსნარები, თუმცა ამ უკანასკნელს არ შეუძლია ღირსეული კონკურენცია გაუწიოს ციანოვან მარილებს ტექნურ-ეკონომიკურ ასპექტში. მიზანშეწონილია თიოშარდოვანას ხსნარების გამოცდა იმ შემთხვევაში, როდესაც ციანიდის გამოყენება პრაქტიკულად შეუძლებელია (მაგალითად სანიტარულ–ჰიგიენური მოთხოვნებით და ა.შ.).

საქართველოში ოქროს შემცველი მადნების საბადოები განლაგებულია ბოლნისის მუნიციპალიტეტის ტერიტორიაზე, რომლის ფარგლებში ცნობილია მადნეული და სხვადასხვა დონეზე შესწავლილი (საყდრისი, დავით გარეჯი, ქვემო ბოლნისი, წითელი სოფელი, დამბლუდი) საბადო და პერსპექტიული მადანგამოვლინება (ბნელი ხევი, სამღერეთი, ბექთაკარი, დარბაზი, თამარისი, კატარკაია, ღრმახევი, მამულო) კეთილშობილი (Au; Ag) ფერადი (Cu; Pb; Zn) ლითონების და ბარიტის დიდი ჯამური პოტენციალი.

კომპანია „არემჯი“ საქართველოში ერთ–ერთი უმსხვილესი კომპანიაა, რომელიც აწარმოებს სამთო–მოპოვებით სამუშაოებს. იგი უმსხვილესი დამსაქმებელია ბოლნისის მუნიციპალიტეტში.

შპს „არემჯი გოლდი“ ოქროს შემცველი კვარციტული მადნებიდან გროვული გამოტუტვით ახორციელებს ძვირფასი ლითონების ამოკრეფას. თუმცა, ფერადი ლითონების წარმოების პირველ საწარმოდ საქართველოში აგრეთვე ითვლება ბოლნისის მუნიციპალიტეტის, დაბა კაზრეთში მდებარე სამთო–გამამდიდრებელი კომბინატი „არემჯი კუპერი“, სადაც ძირითადად მიიღება სპილენძის კონცენტრატი.

ამ საბადოზე სპილენძი სხვადასხვა ფორმითაა წარმოდგენილი, იგი გვხვდება, როგორც სულფიდური, კარბონატული და ქანგეული მადნების ფორმით, ასევე ხალასი ფორმებითაც.

ევროპის ქვეყნებში წელიწადში დაახლოებით 35-40ტ ოქრო მოიპოვება, ოქროს უმსხვილესი მწარმოებლები არიან თურქეთი - 17ტ, ფინეთი - 5,6ტ. შვედეთი - 6ტ, ბულგარეთი - 4,4ტ, ესპანეთი - 3,4ტ. ოქროს მომპოვებელ სხვა ქვეყნებში შედის საფრანგეთი, დანია (გრელანდია), პოლონეთი, საბერძნეთი, რუმინეთი, პორტუგალია, სლოვაკეთი და დიდი ბრიტანეთი. 2010 წელს ევროპაში ოქროს მოპოვებამ შეადგინა გლობალური წარმოების 1,6% (2500ტ).

თურქეთი - ევროპული ოქროს მოპოვების ლიდერია. აქ ძირითადად იყენებენ ჰიდრაულიკურ მეთოდებს.

ფინეთი - „Киттила“-ას საბადო ერთ-ერთი უდიდესია ევროპაში, იგი მდებარეობს ჰელსინკის ჩრდილოეთით, აქ ძირითადად იყენებენ გამდიდრების გრავიტაციულ და ფლოტაციურ მეთოდებს.

ბულგარეთი - „Челопиш“-ის ველი მდებარეობს სოფიიდან 70კმ-ში, პანაგიურიშის სამთო რეგიონის ჩრდილოეთ ნაწილში, სადაც ვითარდება სპილენძის შემცველი სულფიდური და პორფირიტის საბადოები. აქ წარმოება ძირითადად მიწისქვეშაა, გადამამუშავებელ ქარხნებში გამოიყენება ფლოტაციური მეთოდი.

მსოფლიოს უმეტეს ქვეყნებში, სადაც ოქროს მოპოვება წარმოებს, სულფიდური საბადოების დასამუშავებლად გამოიყენება გამდიდრების ფლოტაციური მეთოდი, ხოლო ოქროშემცველი ღარიბი მადნებიდან ოქროს ამოღების ჰიდრომეტალურგიული მეთოდი.

თავი 2. გამოტუტვის პროცესში მინერალების სელექციური გახსნის თეორიული საფუძვლები

მინერალების ქიმიური გადამუშავების პროცესები და სელექცია ძირითადად ეფუძნება მინერალების გახსნას და დამოკიდებულია ხსნადი ნივთიერებისა და გამხსნელის თვისებებზე. მხოლოდ გამხსნელი სითხისა და გასახსნელი სხეულის აქტიური ურთიერთქმედებიდან გამომდინარე, შესაძლებელია მადნებიდან და კონცენტრატებიდან მინერალების კოლექტიური და სელექტიური გამოტუტვის პროცესების კინეტიკისა და მექანიზმის სწორ გაგებასთან მიახლოება. ამასთან დაკავშირებით მიზანშეწონილია გახსნის თანამედროვე პროცესების ფიზიკურ–ქიმიური თეორიების განხილვა, დაწყებული ხსნარების თეორიებისა და მყარი სხეულების ხსნადობის მონაცემებზე დაყრდნობით.

გახსნის მექანიზმი ჟანგვა–აღდგენითი პროცესების საფუძველზე საკმაოდ დაწვრილებითაა შესწავლილი მეტალების მჟავებში გახსნის მიმართ. ამ მექანიზმის განხილვა ამ შემთხვევაში საინტერესოა არა მარტო როგორც ზოგადი მაგალითის ნიმუში, არამედ იმიტომაც, რომ მინერალების ქიმიური სელექციის მიზნით ზოგჯერ იყენებენ ჟანგულების აღდგენის წინასწარ ოპერაციებს, მაგალითად, რკინისა, მეტალურ მდგომარეობამდე, რაც მათი სელექციური გახსნის და უფრო ძვირფასი მინერალების გამოყოფის საშუალებას იძლევა.

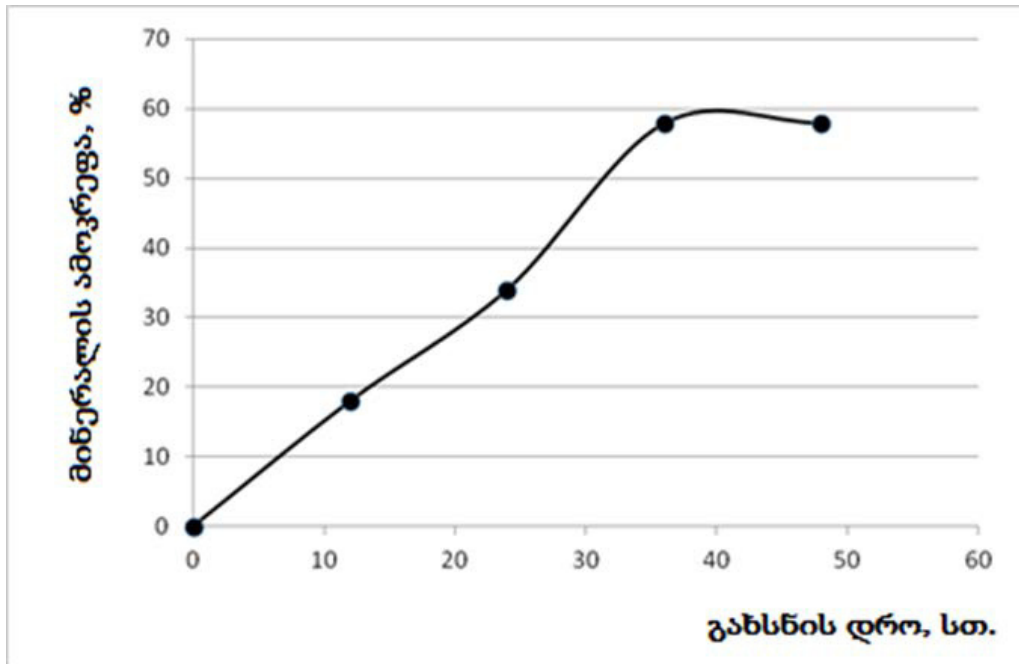
მინერალების გახსნის მეტად რთულ პროცესს მადნებისა და კონცენტრატების გამოტუტვისას, რომლებიც შეიცავენ გამხსნელთან ურთიერთმოქმედი მინერალების მთელ რიგ კომპლექსს, შეიძლება თან ახლდეს მეორადი მოვლენები, რომლებიც იწვევენ ხსნარიდან უკვე

ამოღებული მეტალის დალექვას და ამუხრუჭებენ გახსნის პროცესს მკვრივი აფსკოვანი დანაფერების წარმოქმნის გამო გასახსნელ მარცვლებზე.

მინერალების და სხვა მყარი ნივთიერებების გახსნის სიჩქარე უმეტეს წილად განისაზღვრება არა ქიმიური რეაქციების სიჩქარით, რომელსაც ადგილი აქვს მყარი და თხევადი ფაზების საზღვარზე, არამედ დიფუზიური პროცესების სიჩქარით. ეს განპირობებულია იმით, რომ ასეთ შემთხვევებში მინერალის რეაგენტთან ქიმიური ურთიერთქმედების სიჩქარის მუდმივა გაცილებით მეტია, ვიდრე დიფუზიის სიჩქარის მუდმივა და ამიტომ პროცესი ლიმიტირებულია რეაგენტის მიყვანით ფაზების გაყოფის ზედაპირთან ე.ი მიმდინარეობს დიფუზურ უბანში.

გამოტუტვის ქიმიური რეაქციების უმრავლესობის სიჩქარეები და დიფუზიის სიჩქარე იზრდება ტემპერატურის მატებით, რადგან ამ დროს ნაწილაკთა დიდ რაოდენობას ექნება ენერგიის საკმარისი მარაგი იმისათვის, რომ გახლიჩოს ან შეასუსტოს ქიმიური კავშირები საწყის ნივთიერებებში. ნახაზზე მოცემულია მინერალების გახსნის კინეტიკა, როგორც კინეტიკური მრუდებიდან ჩანს მინერალების გახსნის საშუალო სიჩქარე გახსნის დაწყებიდან შენელებულია და მაქსიმუმს აღწევს გარკვეული დროის შემდეგ.

ნახ. 1-ზე მოცემულია მინერალების გახსნის კინეტიკა, როგორც კინეტიკური მრუდებიდან ჩანს მინერალების გახსნის საშუალო სიჩქარე გახსნის დაწყებიდან შენელებულია და მაქსიმუმს აღწევს გარკვეული დროის შემდეგ.



ნახ. 1. მინერალების გახსნის კინეტიკა

თავი 3. ბნელი ხევის საბადოს სულფიდური მადნების

ნივთიერებრივი შედგენილობის შესწავლა

ბნელი ხევის საბადოს ოქროს შემცველი მადნის ტექნოლოგიური სინჯის ნივთიერებრივი შედგენილობის შესწავლის საფუძველზე დავადგინეთ, რომ ნედლეული მიეკუთვნება მწირსულფიდიან კვარციტულ, ღარიბ, საშუალო გამდიდრებადობის ტექნოლოგიურ ტიპს, კერძოდ: მადანი ძლიერ გაკვარცხულია, მადნეული მინერალებიდან შეიცავს სახეშეცვლილ პირიტებს, მაგნეტიტს, რკინის ოქსიდურ მინერალებს, ილმენიტს და ა.შ. სხვა სულფიდური მინერალები არ გვხვდება, არამდნეული მინერალებიდან ალუნიტს, ქლორიტს და კარბონატებს.

საკონცენტრაციო მაგიდის მძიმე ფრაქციაში ფიქსირდება თავისუფალი $-0,08\text{მმ}$ ზომის ოქროს მარცვლები, ოქროსთვის დამახასიათებელი დენდრიტული ფორმებით. მადანი შეიცავს თიხებს.

ცხრილში 1 და ცხრილში 2 მოცემულია ბნელი ხევის საბადოს ოქროს შემცველი მადნების სილიკატური და ქიმიური ანალიზის შედეგები.

ცხრილი 1

ბნელი ხევის საბადოს ოქროს შემცველი მადნების ტექნოლოგიური სინჯის სრული სილიკატური ანალიზის შედეგები

კომპონენტების შემცველობა, %														
SiO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	CuO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SO ₃	S	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	წითლის დანაკარგი
1,99	10,14	2,81	1,39	0,42	0,88	0,43	0,02	0,03	-	-	0,2	8,92	0,65	2,12

ცხრილი 2

ბნელი ხევის საბადოს ოქროს შემცველი მადნების ტექნოლოგიური სინჯის ქიმიური ანალიზის შედეგები

კომპონენტის შემცველობა					
Au გ/ტ	Ag გ/ტ	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %
1,9	4,84	0,001	0,008	0,006	0.04

მადანში ფასეული კომპონენტის, ოქროს შემცველობა არის 1.9 გ/ტ.

ტექნოლოგიური მადანში გოგორდის არსებობის მინერალური ფორმების განსაზღვრის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 3.

გოგირდის არსებობის მინერალური ფორმების განსაზღვრამ გვიჩვენა, რომ საერთო გოგირდის შემცველობა სინჯში ერთ პროცენტსაც კი არ აღწევს, ამასთან დაჟანგულია თითქმის ნახევარი. თუ სულფიდურ გოგირდს გადავთვლით პირიტზე (სინჯში სხვა სულფიდური მინერალები არ არის) დავინახავთ, რომ მისი შემცველობა 1 % -ს არ აღემატება.

გოგირდის ფაზური ანალიზის შედეგები

№	სინჯის დასახელება	გოგირდის მინერალური ფორმები და მათი მასური წილი, %				
		საერთო	სულფატური	სულფიდური	პირიტზე გადათვლით	
					აბსოლუტური	ფარდობითი
1	წარმომადგენლობითი სინჯი	0,865	0,368	0,497	0,932	57,40

**თავი 4. ბნელი ხევის საბადოს ოქროს შემცველი მადნების
გადამუშავების ტექნოლოგიის შემუშავება**

**4.1. ბნელი ხევის საბადოს ოქროს შემცველი მადნების გრავიტაციული
გამდიდრება**

ბნელი ხევის საბადოს ოქროს შემცველი მადნების წარმომადგენლობითი სინჯი (-1+0მმ) შესწავლილია გრავიტაციულ გამდიდრებადობაზე კერძოდ, საკონცენტრაციო მაგიდის საშუალებით.

დადგენილი ოპტიმალური ტექნოლოგიური პარამეტრების (დახრის კუთხე, დეკის სვლა, რხევის სიხშირე) დაცვით გრავიტაციული მეთოდით გამდიდრებადობაზე შესწავლის შედეგები მოცემულია ცხრილში 4.

ეს მონაცემები მიუთითებს საკონცენტრაციო მაგიდაზე გამდიდრების პროცესის ტექნოლოგიურ სქემაში ჩართვის მიზანშეწონილობაზე, კონცენტრატში ოქროს ამოკრეფა აჭარბებს 30%-ს, კუდებში დარჩენილი სასარგებლო პროდუქტის შემცველობა მინიმუმამდეა დაყვანილი.

ბნელი ხევის საბადოს ოქროს შემცველი მადნების გრაფიტაციული გამდიდრების შედეგები

N	პროდუქტის დასახელება	დეკის სვლა, მმ	დახრის კუთხე, გრად.	რხევის სიხშირე, ჰც	დრო, წთ	ფრაქციის მასური წილი, %	ოქროს მასური წილი, გ/ტ	ოქროს ამოკრეფა, %
1	კნ-ტი	8	10	380	8	1.28	47.87	32.25
2	შუალედი პროდუქტი					50.15	2.54	67.23
3	კუდები					48.57	0.11	0.52
4	საწყისი სინჯი					100	1.9	100

4.2. ფლოტაციური მეთოდით კვლევა

ბნელი ხევის საბადოს ოქროს შემცველი მადნები შესწავლილი იქნა ფლოტაციური მეთოდით გამდიდრებადობაზე. დადგინდა ფლოტაციის პროცესის ოპტიმალური პარამეტრები: მასალის დაფქვის სიმსხო; ფლოტაციის გარემოს ტუტიანობა; ამქაფებლის და კოლექტორის ხარჯები.

მადნის ფლოტაციური მეთოდით გამდიდრების შედეგები მოცემულია ცხრილში 5.

ბნელი ხევის საბადოს ოქროს შემცველი მადანში ფლოტირებადი ოქროს განსაზღვრის შედეგები

№	სინჯის დასახელება	პროდუქტის დასახელება	პროდუქტის მასური წილი, %	ოქროს შემცველობა, გ/ტ	ოქროს ამოკრეფა, %
1	ტექნოლოგიური სინჯი	კონცენტრატი	18,57	6.90	67.52
		კუდები	81.43	0.75	32.48
		საწყისი მადანი	100	1.9	100

დადგენილი ფლოტაციის პროცესის ოპტიმალური პარამეტრებია: დაფქვის ხარისხი 80 % -0.074 მმ, გარემოს რეგულატორი-კალცინირებული

სოდის ხარჯი 500 გ/ტ, pH=7,5, კოლექტორის-ბუთილის ქსანტოგენატის ხარჯი შეადგენს 30 გ/ტ, ამქაფებლის-ფიჭვის ზეთის ხარჯია 25 გ/ტ, შედეგად მიიღება ოქროს კონცენტრატი ოქროს შემცველობით 6.90 გ/ტ, ამოკრეფით - 67,52%.

4.3. ჰიდრომეტალურგიული მეთოდით ოქროს ამოღების შესაძლებლობის კვლევა

მადნის კვლევამ გვიჩვენა გამდიდრების ჰიდრომეტალურგიული მეთოდის პერსპექტიულობა. ტექნოლოგიური სინჯის გამოტუტვა განხორციელდა ბოთლის ამრევის საშუალებით. მიუხედავად იმისა, რომ არსებობს ოქროს და მისი მინერალების გამხსნელის ფართო ასორტიმენტი, სამრეწველო მასშტაბით გამოიყენება მხოლოდ ნატრიუმის, კალიუმის ციანიდი, თიოსულფატები და თიოზარდოვანა.

ამ სამი გამხსნელიდან გამოცდილი იქნა ციანიდი და თიოზარდოვანა.

ოქროს ექსტრაქციის შედარებით მაღალ შედეგი მიიღება იმ შემთხვევაში, თუ გამოყენებული იქნება ნატრიუმის ციანიდის ხსნარი, კონცენტრაციით 0,07 %. ამ დროს ოქროს ამოკრეფა ხსნარში შეადგენს 65,49%, რაც მნიშვნელოვნად აღემატება 0,05 და 0,1 %-იანი ხსნარებით გამოტუტვის შედეგებს.

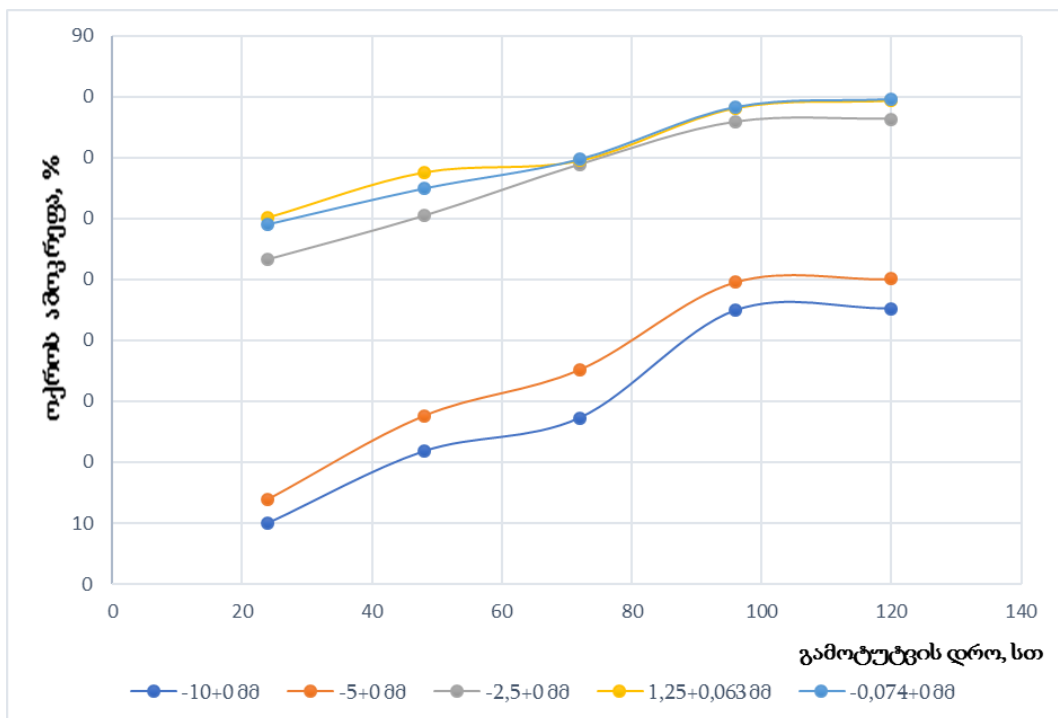
განისაზღვრა გამოტუტვის პროცესის დამოკიდებულება მადნის დაწვრილმანების ხარისხზე, შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 6.

შედეგების მიხედვით, რაც მეტია მადნის დაწვრილმანების ხარისხი, მით მეტია ოქროს ექსტრაქცია ხსნარში. დაფქვის 80% -0,074მმ-ის დროს საწყისი ოქროს 80 % გადადის ხსნარში 120 სთ-ის განმავლობაში.

სხვადასხვა სიმსხომდე დაწვრილმანებული მადნიდან ოქროს
ციანხსნარით გამოტუტვის შედეგები

N	მადნის დაწვრილმანების ხარისხი, მმ	ოქროს მასური წილი საწყის მადანში, გ/ტ	გამოტუტვის ხანგრძლივობა, სთ	გადავიდა ხსნარში ოქრო, გ/ტ	ოქროს ექსტრაქციის ხარისხი (ამოკრეფა), %
1	100 % -10 +0	1,9	24	0.19	10
2			48	0.41	21.79
3			72	0.51	27.26
4			96	0.85	44.90
5			120	0.85	45.21
6	90 % -5 +0		24	0.26	13.84
7			48	0.52	27.58
8			72	0.66	35.16
9			96	0.94	49.57
10			120	0.95	50.05
11	85 % -2,5 +0	1,9	24	1.01	53.32
12			48	1.15	60.43
13			72	1.30	68.84
14			96	1.44	75.83
15			120	1.45	76.32
16	83 % - 1,25 +0		24	1.15	60.52
17			48	1.30	68.48
18			72	1.32	69.47
19			96	1.50	78.95
20			120	1.51	79.47
21	80 % -0.074 +0	1,9	24	1.12	59.10
22			48	1.23	64.95
23			72	1.32	69.73
24			96	1.48	78.26
25			120	1.51	79.57

ნახ. 2-ზე წარმოდგენილია ოქროს გახსნის კინეტიკური მრუდები, რომლებიც ასახავს ოქროს გახსნის რეაქციის სიჩქარეს დროზე დამოკიდებულებით. ოქროს ნატრიუმის ციანიდის ხსნარში გახსნის კინეტიკური მრუდებიდან ნათლად სჩანს, რომ გამოტუტვის დაწყებიდან პირველი 24 საათის განმავლობაში ოქროს გახსნის საშუალო სიჩქარე შენელებულია და მასალის დაწვრილმანების ხარისხზე დამოკიდებულებით ცვალებადობს და აღწევს მაქსიმუმს 120 საათის შემდეგ.



ნახ. 2. ოქროს ნატრიუმის ციანიდის ხსნარში გახსნილი კინეტიკური მრუდები.

ციანიდებით ოქროს გამოტუტვის ალტერნატივა არის თიოზარდოვანით გამოტუტვა. პირველთან შედარებით მას გააჩნია შემდეგი უპირატესობანი: ოქროს უფრო სწრაფად გამოტუტვა, ნაკლები ტოქსიკურობა, კეთილშობილი მეტალების უფრო სრულად გახსნა.

ექსპერიმენტების მიხედვით, ოპტიმალური კონცენტრაციის ხსნარი არის, რომელიც შეიცავს 1 % თიოზარდოვანას, 0,5 % გოგირდმჟავას და 2 % რკინა-ამონიუმის შაბს, ამ დროს ამოკრეფა ტოლია 58,15%. უფრო დაბალი

კონცენტრაციის ხსნარით გამოტუტვის პროცესი შენელებულია, რის გამოც ოქროს გამოტუტვა რაღაც დროის მერე კლებულობს.

ექსპერიმენტები გაგრძელდა გამოსატუტი მადნის ნატეხების ოპტიმალური სიმსხოს დადგენის მიზნით, შედეგები მოცემულია ცხრილში 7.

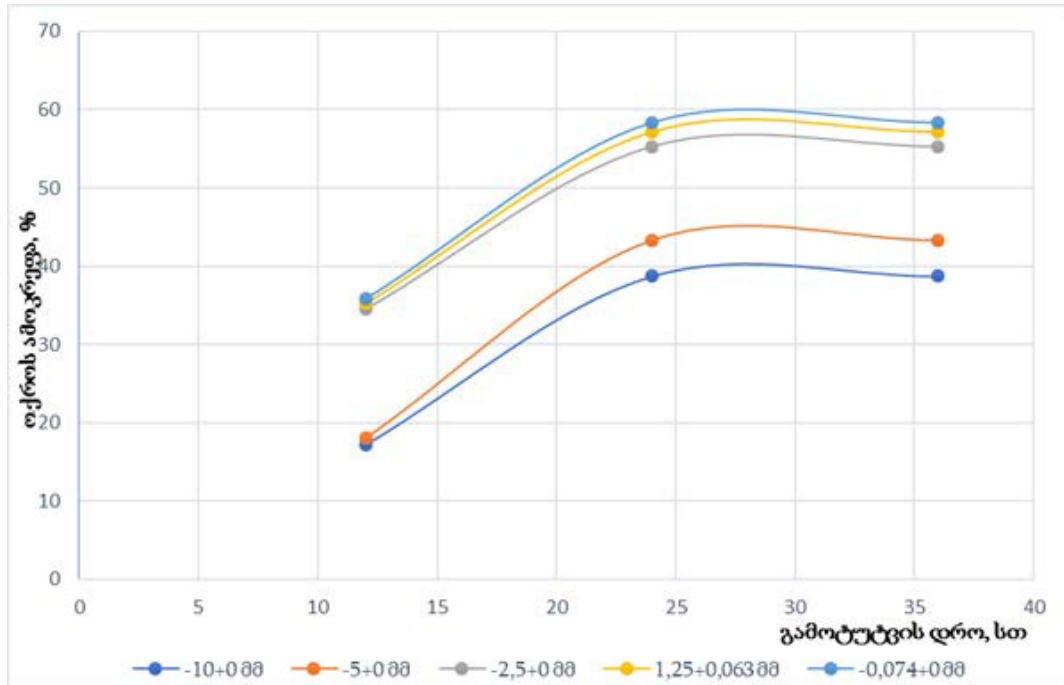
ცხრილი 7

ოქროს მადანში არსებული ოქროს თიოზარდოვანის ხსნარით გამოტუტვის შედეგები

	მადნის დაწვრილმანების ხარისხი, მმ	ოქროს მასური წილი საწყის მადანში, გ/ტ	დრო, სთ	ოქროს შემცველობა, გ/ტ	ოქროს ამოკრეფა ხსნარში, %
1	100 % -10 +0	1.9	12	0.33	17.2
2			24	0.74	38.7
3			36	0.74	38.7
4	90 % -5 +0		12	0.34	18.1
5			24	0.82	43.3
6			36	0.82	43.3
7	85 % -2,5 +0		12	0.65	34.5
8			24	1.05	55.3
9			36	1.05	55.3
10	83 % - 1,25 +0		12	0,67	35,26
11			24	1,09	57,37
12			36	1,10	57,89
13	80 % -0.074 +0		12	0.68	35,8
14			24	1.1	58.3
15			36	1.1	58.3

ცხრილის მონაცემების თანახმად, ოქროს გამოტუტვის პროცესი მთავრდება 24 საათში. ამასთან მისი ექსტრაქციის ხარისხი იმართება მასალის დამსხვრევის ხარისხით: რაც უფრო წვრილად არის დამსხვრეული და დაფქული მადანი, მით მეტია ოქროს ამოკრეფა ხსნარში. -0,074 მმ-დე დაფქული მასალიდან ხსნარში გადადის საწყისი ოქროს 58,3%.

ნახ. 3-ზე წარმოდგენილია თიოშარდოვანის ხსნარში ოქროს ხსნადობის სიჩქარე კინეტიკური მრუდების სახით.



ნახ. 3. თიოშარდოვანას ხსნარში ოქროს ხსნადობის სიჩქარის კინეტიკური მრუდები

4.4. გრავიტაციული მეთოდით მიღებული შუალედური პროდუქტის გამოცდა ფლოტაციურ გამდიდრებადობაზე

კვლევის ფარგლებში, როგორც აღნიშნეთ, დადგინდა გრავიტაციული გამდიდრების (საკონცენტრაციო მაგიდა) ოპტიმალური პარამეტრები, სადაც შუალედური პროდუქტის გამოსავალი შეადგენდა 50 %-ს და ოქროს შემცველობა-2,5%. ასევე აღნიშნული დროისთვის უკვე დადგენილი გვექონდა საწყისი სინჯისთვის ფლოტაციის ოპტიმალური პარამეტრები: დაფქვის ხარისხი 80%-0.074მმ, pH=7,5, კოლექტორის-ბუთილის ქსანტოგენატის ხარჯი -30 გ/ტ, ამქაფებლის-ფიჭვის ზეთის ხარჯი 25 გ/ტ. ამ პარამეტრების გათვალისწინებით ჩატარდა შუალედური პროდუქტის ფლოტაცია, რომლის შედეგები ნაჩვენებია ცხრილში 8.

გრაფიტაციული მეთოდით მიღებული შუალედური პროდუქტის ფლოტაციური გამდიდრების შედეგები

№	სინჯის დასახელება	პროდუქტის დასახელება	პროდუქტის მასურიწილი, %	ოქროს შემცველობა, გ/ტ	ოქროს ამოკრეფა, %
1	წარმომადგენლობითი სინჯი	კონცენტრატი	20.35	8.68	69.32
		კუდები	79.65	0.98	30.68
		საწყისი მადანი	100	2.55	100

ცხრილის მონაცემების მიხედვით შეგვიძლია ვთქვათ, რომ საკონცენტრაციო მაგიდის შუალედური პროდუქტიდან ოქროს ამოკრეფამ შეადგინა 70%-მდე, ოქროს შემცველობით 8,68გ/ტ. შემდეგი ექსპერიმენტები გაგრძელდა ფლოტაციის კუდებიდან ოქროს ამოღების მიზნით და ასევე შუალედურ პროდუქტში ციანხსნარით ოქროს გამოტუტვის განსასაზღვრავად.

4.5. ფლოტაციის კუდებიდან ციანხსნარით ოქროს გამოტუტვა

ექსპერიმენტებში გამოყენებული იქნა საწყის მადანში განსაზღვრული ციანხსნარით ოქროს გამოტუტვის ოპტიმალური პარამეტრები: ციანხსნარის კონცენტრაცია-0.07 %, მყარი და თხევადი ფაზების ფარდობა-1:1.5, გამოტუტვის ხანგრძლივობა - 120 სთ.

კვლევის შედეგები მოცემულია ცხრილში 9.

ექსპერიმენტების თანახმად ფლოტაციის კუდები ექვემდებარება ციანირებას, მიღებული შედეგების მიხედვით ამოკრეფა შეადგენს კუდებში არსებული ოქროს 60.47 %-ს, ოქროს შემცველობა პროდუქტში - 0,59გ/ტ-ს.

ფლოტაციის კუდებში ციანხსნარით ოქროს გამოტუტვის შედეგები

№	მადნის დაწვრილმანების ხარისხი, მმ	ოქროს მასური წილი საწყის მადანში, გ/ტ	გამოტუტვის ხანგრძლივობა, სთ	გადავიდა ხსნარში ოქრო, გ/ტ	ოქროს ექსტრაქციის ხარისხი (ამოკრეფა), %
1	80 % -0.074+0	0.98	24	0.22	23.1
2			48	0.44	45.27
3			72	0.56	57.82
4			96	0.59	60.38
5			120	0.59	60.47

4.6. ბნელი ხევის საბადოს ოქროს შემცველი მადნების გროვული გამოტუტვის ტექნოლოგიური შეფასება („სვეტის“ ტესტი)

სამუშაოს მიზანს წარმოადგენდა ბნელი ხევის საბადოს ოქროს შემცველი მადნების გროვული გამოტუტვის შესაძლებლობის შეფასება „სვეტის“ ტესტის გამოყენებით. უკანასკნელი გროვული გამოტუტვის იმიტაციაა და არის აუცილებელი პროცედურა მოცემული ტიპის მადნების ტექნოლოგიური თვისებების კვლევისა და საბადოს ეკონომიკური პოტენციალის განსაზღვრისთვის.

მადნის ტექნოლოგიური ტესტირების პროცედურა ითვალისწინებდა:

- „სვეტის“ ტესტების ჩატარებას და ოქროს გამოტუტვის ოპტიმალური პირობების დადგენას;
- ოქროს გამოტუტვის კინეტიკის შესწავლას.

აღებული იქნა სინჯი დამსხვრევის -20მმ და -10მმ ორი სხვადასხვა ხარისხით. მადნის ორივე ტექნოლოგიური სინჯი ჩატვირთული იქნა სვეტებში, რომელთა სიმაღლე არის 2,08 მ, დიამეტრი 200მმ. სვეტის მორწყვის სისტემა მოეწყო ისე, რომ ნატრიუმის ციანიდის 0,07%-იანი ხსნარის მიწოდება ხდებოდა წვეთებით-20მლ/წთ, ხსნარი მიეწოდებოდა არა გაფრქვევით, არამედ წვეთოვანი გზით, გამოსატუტი მასალის ზედაპირზე დაფენილი ქსოვილის გავლით, რაც უზრუნველყოფდა მის

თანაბარ განაწილებას სინჯის მთელ მასაში. -20მმ-მდე დამსხვრეული მასალიდან ოქროს ექსტრაქციის ხარისხი შეადგენს 85,48%, ხოლო -10მმ-მდე 84,37%.

მადანში განისაზღვრა გრანულომეტრიული შედგენილობა გამოტუტვამდე და გამოტუტვის შემდეგ. შედეგები მოცემულია ცხრილებში 10; 11.

ცხრილი 10

ტექნოლოგიური სინჯების გრანულომეტრული შემადგენლობა გამოტუტვამდე

გაცრის ფრაქცია, მმ	ფრაქციის მასური წილი, %	ოქროს მასური წილი ფრაქციაში, გ/ტ	ოქროს განაწილება ფრაქციებს შორის(ამოკრეფა), %
-20+0			
-20+10	31,95	2,34	39,35
-10+5	15,99	1,82	15,32
-5+2,5	9,13	1,92	9,23
-2,5+1,25	8,87	1,21	5,65
-1,25+0,63	5,81	1,66	5,08
-0,63+0,315	5,86	1,86	5,74
-0,315+0,16	4,61	1,78	4,32
-0,16+0,08	3,04	4,81	7,70
-0,08+0	14,74	0,98	7,61
საწყისი სინჯი	100,00	1,9	100,00
-10+0			
-10+5	33,87	2,39	42,61
-5+2,5	13,09	1,57	10,82
-2,5+1,25	13,32	2,23	15,63
-1,25+0,63	8,24	1,47	6,38
-0,63+0,315	7,86	1,42	5,87
-0,315+0,16	4,73	2,57	6,40
-0,16+0,08	3,01	2,58	4,09
-0,08+0	15,88	0,98	8,20
საწყისი სინჯი	100,00	1,9	100,00

სვეტებში ოქროს გამოტუტვის ნარჩენების (კუდების) გრანულომეტრული

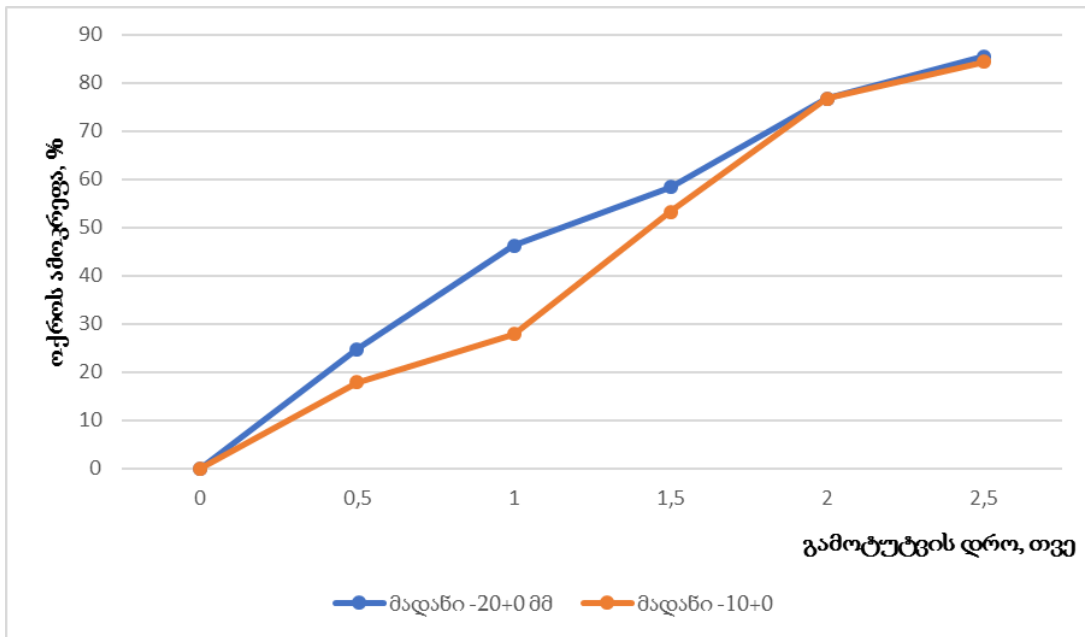
სინჯის დასახელება	გაცრის ფრაქცია, მმ	ფრაქციის მასური წილი, %	ოქროს მასური წილი ფრაქციაში, გ/ტ	ოქროს განაწილება ფრაქციებს შორის (ამოკრეფა), %
-20+0	-20+10	41,06	0,34	40,78
	-10+5	23,94	0,59	41,38
	-5+2,5	8,73	0,36	9,18
	-2,5+1,25	9,50	0,19	5,33
	-1,25+0,63	3,20	0,08	0,75
	-0,63+0,315	3,13	0,14	1,33
	-0,315+0,16	2,43	0,12	0,87
	-0,16+0,08	1,23	0,10	0,38
	-0,08+0	6,78	0	0
საწყისი	-20+0	100,00	0,345	100,00
-10+0	-10+5	36,08	0,25	35,53
	-5+2,5	15,60	0,33	19,50
	-2,5+1,25	8,20	0,45	13,90
	-1,25+0,63	7,91	0,58	17,23
	-0,63+0,315	10,91	0,15	6,12
	-0,315+0,16	4,08	0,20	3,06
	-0,16+0,08	2,35	0,48	4,23
	-0,08+0	14,87	0,04	2,43
საწყისი	-10+0	100,00	0,27	100,00

მადნების გრანულომეტრიული შედგენილობის შესწავლამ გამოტუტვამდე და გამოტუტვის შემდეგ გვიჩვენა, რომ ყველაზე აქტიურად იტუტება კლასები, რომელთა სისხო ნაკლებია 1,25მმ-ზე, ოქროს სრული ინდივიდუალიზაცია (გახსნადობა) აღინიშნება-0,08+0მმ ფრაქციაში, რაც მის წვრილ ჩაწინწკლაზე მიუთითებს. ოქროს უფრო მაღალი ამოკრეფის მაჩვენებლის მიღება შესაძლებელია მადნის დაქუცმაცებით 1,25მმ-ზე.

ნახ. 4-ზე მოცემულია ოქროს გამოტუტვის სიჩქარე, პროცესის კინეტიკური მრუდების სახით.

გრაფიკიდან სჩანს, რომ პროცესის დასაწყისში -20მმ-მდე დამსხვრეული მადნის გამოტუტვის სიჩქარე) მნიშვნელოვნად აღემატება -

10მმ-მდე დამსხვრეული მადნის ანალოგიურ მაჩვენებელს. დაახლოებით 1,5 თვის შემდეგ ოქროს ექსტრაქციის სიჩქარე თანაბრდება (ამოკრეფა ორივე სინჯიდან თითქმის ერთნაირია), საბოლოო ჯამში გამოტუტვის პროცესი ერთნაირად მიმდინარეობს. აღსანიშნავია ისიც, რომ პრაქტიკულად ერთნაირია ნატრიუმის ციანიდის ხარჯი 0,371-0,386 კგ/ტ.



ნახ. 4. ოქროს გამოტუტვის კინეტიკა

კვლევები გაგრძელდა საწყისი მადნის კომბინირებული სქემით გამდიდრებადობაზე, რომელიც ითვალისწინებდა გრავიტაციულ და ჰიდრომეტალურგიული მეთოდების კომბინაციას.

ჩატარებულმა კვლევებმა გვიჩვენა, რომ საკონცენტრაციო მაგიდის კონცენტრატში ოქროს ამოკრეფა შეადგენს 32,25%, შემცველობით 47,87გ/ტ, ხოლო შუალედ პროდუქტში ამოკრეფა-67,23%-ს და ოქროს შემცველობა-2,5გ/ტ, კუდებში ოქროს შემცველობა მინიმუმამდეა დაყვანილი (0,11 გ/ტ).

ცხრილში 12 მოცემულია „სვეტის“ ტესტზე დაკვირვების მონაცემები.

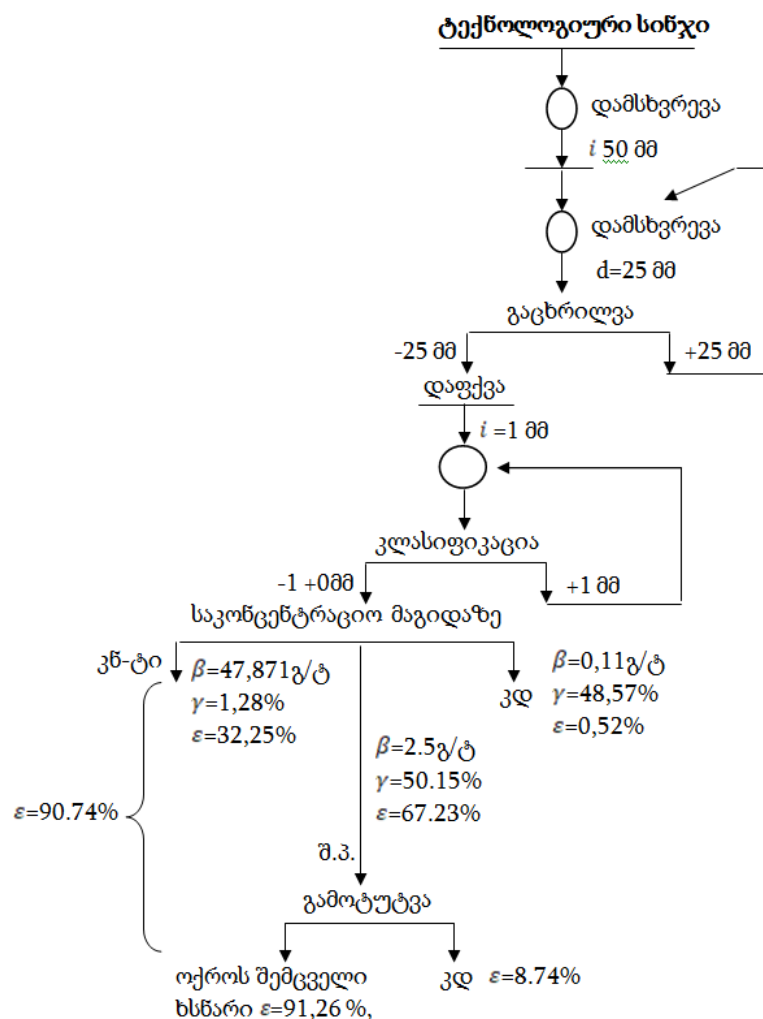
ცხრილი 12

სვეტის ტესტზე დაკვირვების მონაცემები

თარიღი	სხნარის მდგომარეობა, ლ	ფილტრის მდგომარეობა, ლ	ფილტრის დასაწმენდობა, ლ	სხნარის კლარის მდგომარეობა, ლ/კვ	pH		ციანიდის კონცენტრაცია, გ/ლ		NCN ხარჯი, კვტ	Au, მგ/ლ	Au, მგ	ჯამური Au, მგ	ამოკრეფა, ქიმ ანალიზით, %	ჯამური ამოკრეფა, %
					დასაწმენდი	დასაწმენდი	დასაწმენდი	დასაწმენდი						
09.09.2019	10	-	-	-	10,0	-	0,7	-	-	-	-	-	-	-
16.09.2019	10	3,5	3,5	1		9	0,7	0,3	0,4	0,848	2,97	2,97	11,88	11,88
19.09.2019	4	3	6,5	1	10,3	8,7	0,7	0,3	0,58	0,897	2,691	5,661	10,764	22,64
23.09.2019	6	6	12,5	0,4	10,5	9,0	0,7	0,5	0,04	0,7	4,21	9,871	16,84	39,48
27.09.2019	4	4	16,6	0,6	10,5	8,0	0,7	0,3	0,3	1,02	4,08	13,951	16,72	56,20
30.09.2019	6	4	20,5	0,4	10,0	9,2	0,7	0,4	0,12	0,812	3,25	17,201	13,0	69,20
02.10.2019	4	5	25,5	0,6	10,5	8,5	0,7	0,5	0,27	0,472	2,362	19,563	9,44	78,64
05.10.2019	2,5	3	28,5	0,4	10,5	8,0	0,7	0,6	0,16	0,395	1,185	20,748	4,74	83,38
08.10.2019	3	3	31,5	0,25	10,5	8,2	0,7	0,6	0,08	0,366	1,1	21,848	4,4	87,78
11.10.2019	2	1	32,5	0,3	10,3	8,5	0,7	0,4	0,17	0,283	0,425	22,131	1,7	89,48
15.10.2019	1	1,5	34,0	0,2	10,4	8,3	0,7	0,4	0,08	0,176	0,265	22,307	1,06	90,54
17.10.2019	1	1,5	35,5	0,1	10,2	8,5	0,7	0,5	0,01	0,12	0,180	22,427	0,72	91,26

ექსპერიმენტების შედეგების მიხედვით შუალადური პროდუქტიდან ჰიდრომეტალურგიული გამდიდრებით ოქროს ამოკრეფა შეადგენს 91,26%, (საწყისი მადნიდან -58,49%), ტექნოლოგიური სქემით, რომელიც გულისხმობს გრავიტაციულ და ჰიდრომეტალურგიული მეთოდების კომბინაციას, საწყისი მადნიდან ოქროს ჯამური ამოკრეფა შეადგენს 90,74%, მისი გადაყვანა საბოლოო სასაქონლო პროდუქციაში შეიძლება განხორციელდეს ცემენტაციით თუთიაზე, სორბციით აქტიურ ნახშირზე ან იონმიმოცვლით ფისებზე, ელექტროლიზით და ა.შ.

რეკომენდებულია ტექნოლოგიური სქემა (ნახ. 7), რომელიც გულისხმობს გრავიტაციულ და ჰიდრომეტალურგიული მეთოდების კომბინირებას ოქროს საბოლოო ამოკრეფით $\epsilon=90,74\%$.



ნახ. 7. ბნელი ხევის საბადოს ოქროს შემცველი მცირესულფიდური მადნების გადამუშავების სარეკომენდაციო ტექნოლოგიური სქემა

დასკვნა

ბნელი ხევის საბადოს ოქროს შემცველი მადნის ტექნოლოგიური სინჯის ნივთიერებრივი შედგენილობის და ტექნოლოგიური თვისებების შესწავლის საფუძველზე დადგენილია, რომ ნედლეული მიეკუთვნება მწირსულფიდიან კვარციტულ, ღარიბ, საშუალო გამდიდრებადობის ტექნოლოგიურ ტიპს, კერძოდ:

- მადანი ძლიერ გაკვარცხულია, მადნეული მინერალებიდან - სახემეცვლილ პირიტებს, მაგნეტიტს, რკინის ოქსიდურ მინერალებს, ილმენიტს და ა.შ. სხვა სულფიდური მინერალები არ გვხვდება, არამადნეული მინერალებიდან შეიცავს ალუნიტს, ქლორიტს და კარბონატებს.
- საკონცენტრაციო მაგიდის მძიმე ფრაქციაში ფიქსირდება თავისუფალი
- $-0,08\text{მმ}$ ზომის ოქროს მარცვლები, ოქროსთვის დამახასიათებელი დენდრიტული ფორმებით. მადანი შეიცავს თიხებს, რაც ართულებს ციანხსნარებით ოქროს გამოტუტვის პროცესს.
- გრანულომეტრიული და ქიმიური ანალიზების საფუძველზე დადგენილია, რომ ოქროს უმეტესი ნაწილი მადანში კონცენტრირებულია მსხვილ კლასებში ($+10$, $+5$ და $+2,5$ მმ), რაზეც მიუთითებს მაღალი გამოსავლიანობა.
- ოქროს სრული ინდივიდუალიზაცია (გახსნადობა) აღინიშნება - $0,08+0\text{მმ}$ ფრაქციაში, რაც მის წვრილ ჩაწინწკვლაზე მიუთითებს. ოქროს უფრო მაღალი ამოკრეფის მაჩვენებლის მიღება შესაძლებელია მადნის დაქუცმაცებით $1,25\text{მმ}-\text{მდე}$.
- გოგირდის არსებობის მინერალური ფორმების განსაზღვრამ გვიჩვენა, რომ საერთო გოგირდის შემცველობა საწყის მადანში მცირეა და $1\%-\text{ც}$ კი არ აღწევს, ამასთან დაჟანგულია თითქმის ნახევარი.

- ფლოტაციური მეთოდით გამდიდრებადობაზე შესწავლამ კონკრეტული შემთხვევისათვის გვიჩვენა მეთოდის მიზანშეუწონლობა, პირველ ყოვლისა ეკონომიკური თვალსაზრისით (ოქროს მაქსიმალური ამოკრეფა $E=67,52\%$).
- მადნის გრავიტაციულ გამდიდრებადობაზე შესწავლის შედეგად, მიღწეულია, როგორც ტექნოლოგიურად, ისე ეკონომიურად მისაღები შედეგი: კონცენტრატში ოქროს შემცველობა შეადგენს $\beta=47,87\text{გ/ტ}$, გამოსავალი $Y=1,28\%$ ამოკრეფა $E=32,25\%$.
- გრავიტაციული გამდიდრების შუალედი პროდუქტი ($\beta=2,547\text{გ/ტ}$; $Y=50,15\%$; $E=67,23\%$) შესწავლილი იქნა ჰიდრომეტალურგიულ გამდიდრებადობაზე. დადგენილია გროვული გამოტუტვის პერსპექტიულობა შემდეგი ტექნოლოგიური პარამეტრებით: გამხსნელი- 0.07% კონცენტრაციის ნატრიუმის ციანიდის ხსნარი, ხარჯით- 20მლ/წთ , გამოტუტვის ხანგრძლივობა- $2,0-2,5$ თვე, ხსნარში ოპერაციიდან ამოიკრიფება ოქროს $91,26\%$, რაც შეადგენს საწყისი მადნიდან ოქროს $58,49\%$ ამოკრეფას. საბოლოო პროდუქტის მისაღებად ოქროს შემცველი ხსნარი მიეწოდება ცემენტაციის, ელექტროლიზის ან სორბციის პროცესებს.
- რეკომენდებულია ტექნოლოგიური სქემა, რომელიც გულისხმობს გრავიტაციულ და ჰიდრომეტალურგიული მეთოდების კომბინირებას, ოქროს საბოლოო ამოკრეფით $E=90,74\%$.
- შესრულებული კვლევის შედეგების გამოყენება შესაძლებელია საფუძვლად დაედოს ბნელი ხევის ოქროს შემცველი მადნების საბადოს კომპლექსური დამუშავების საინვესტიციო პროექტს და გამოყენებული იქნას სხვა მსგავსი ტიპის ბუნებრივი წიაღისეულის კომპლექსური ათვისების დროს.

აპრობაცია

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი საკითხები მოხსენების სახით გაშუქდა საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე, კოლოკვიუმებსა და თემატურ სემინარებზე.

პუბლიკაციები

1. ი.სამხარაძე, ნ.შეყრილაძე, ნ.ადეიშვილი, ნ.მაისურაძე, გ.ჩქარეული „ზნელი ხევის დაჟანგული მადნების გამოტუტვის ტექნოლოგიური შეფასება“ („სვეტის“ ტესტი). ”სამთო ჟურნალი” თბილისი 2018, №1(40). გვ. 51–53.
2. ი.სამხარაძე – „ზნელი ხევის ოქროს შემცველი საბადოს მადანგამოვლენის ტექნოლოგიური სინჯებიდან ოქროს გამოტუტვის მაჩვენებლების პირველადი შეფასება“ („ბოთლის ტესტი“). ”სამთო ჟურნალი” თბილისი 2019, №1(42). გვ. 71–74.
3. ი.სამხარაძე, რ.სტურუა, ზ.არაბიძე – „ზნელი ხევის ოქროს შემცველი მადნების გამდიდრების კომბინირებული სქემის გამოცდა“ „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“ თბილისი 2020, №1(733). გვ.51–54.
4. ი. სამხარაძე. “ზნელი-ხევის ოქროს შემცველი საბადოს მადანგამოვლინების ტექნოლოგიური სინჯებიდან ოქროს გამოტუტვის მაჩვენებლების პირველადი შეფასება („ბოთლის ტესტი)”, სტუ-ს სტუდენტთა 86-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, თბილისი, 2018, თეზისების კრებული, გვ. 105.

Abstract

Elaboration of the technology for enrichment of gold-containing low-sulfide ores of BneliKhevi deposit

In the dissertation the results of the research of technological properties and material constitution of gold-containing low-sulfide ores of BneliKhevi deposit are given which formed the basis for elaboration of the technological scheme of their processing.

The studied ores by their mineralogical composition and structural peculiarities are concerned with low-sulfide quartzite, pure, medium enrichable technological type; in particular, the samples are greatly quartzous, the ore contains the modified pyrites, magnetite, iron oxide minerals, ilmenite and etc. There are no other sulfide minerals, from non-metallic minerals occur alunite, chlorite and carbonates.

Microscopic study has shown that in the samples the free: - 0,08mm size gold grains are fixed in small quantities by characteristic dendrite forms. The ore contains clays which complicate the process of cyanide leaching. The silicate analysis of gold-containing ore of BneliKhevi deposit was carried out and chemical composition was determined. On the basis of the phase analysis the mineral forms of the presence of sulfur in the ore was established. Total sulfur content in the ore comprises 1%.

On the basis of granulometric and chemical analyses it was established that the major part of gold in the ore is concentrated in the large-sized classes: (+10, +5 and +2,5mm) which is indicative of the high yields.

On the basis of mineralogical composition and of textural-structural peculiarities of gold-containing ores of BneliKhevi deposit the research of their enrichability was carried out by the use of the combined method of enrichment.

The gold-containing ore of BneliKhevi deposit was studied on gravitational enrichability, in particular by means of the table concentrator. Obtained results is indicative of the advisability of the inclusion in the process of technological scheme of enrichment on the table concentrator, gold extraction exceeds 30%, the content of the useful products, remained in the tails, is reduced to a minimum.

The gold-containing ore of BneliKhevi deposit was studied on enrichability by flotation method. Optimal parameters of flotation process were determined: material grinding range 80% -0,074mm, medium regulator-consumption of soda ash 500g/ton, pH=7.5, consumption of the collector-butyl xantogentane comprises 30g/ton, consumption of the foaming agent-pine oil -25g/ton; as a result, the gold concentrate is obtained by the content of 6.90g/ton and by gold extraction of 67.52% which is inadmissible by technological and economic view point.

In the experiments various solvents were used for gold extraction: from head ore: sodium cyanide (0.07%) and thiourea (thiourea - 1%, sulfuric acid - 0.5%, iron-ammonium alum-0.25%) aqueous solutions of optimal concentrations.

(gold extraction comprises 76.32% by cyanide solution and 58.15% by thiourea). The use of the solution of sodium cyanide was selected. The consumption of sodium cyanide comprised 0,57kg/ton.

For estimation of the possibility of heap leaching by the use of so-called "column test" two samples of various grinding range (-20mm; -10mm) were studied. From the ground

material (to -20mm) the range of gold extraction comprises 85,48% and for -10 mm grinding -84,37%.

Intermediate product of gravitational enrichment ($\beta=2.54\text{g/ton}$; $\gamma=50.15\%$; $\varepsilon=67.23\%$) was studied on hydro metallurgical enrichability. The availability of heap leaching was established by the following technological parameters: solution - the solution of sodium cyanide by concentration - 0.07%; its consumption-20ml/min, leaching duration 2.0-2.5 months. In the solution during operation 91.26% of gold is extracted which represents the extraction of 58.49% of gold from the initial ore. For obtaining of the final product gold-containing solution is fed to the processes of cementation, electrolysis or sorption.

Technological scheme is recommended which provides the combination of gravitational and hydrometallurgical methods by gold final extraction: $\varepsilon=90,74\%$. Its conversion into finished commercial product can be carried out by zinc cementation, sorption of activated carbon or by ion-exchange resins, electrolysis, and so on.

From a scientific point of view, the results obtained in the framework of the project will be significant in the long term mine existence, in terms of planning the socio-economic infrastructure of the region and environmental safety.

The use of obtained results may form the basis of investment project of complex processing of gold-containing ores of BneliKhevi deposit and may be used in the course of complex development of natural resources of the same type.