

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნუნუ ლომიძე

მადნეულის ოქროსშემცველი სულფიდური მადნების
ტექნოგენური ნარჩენების გადამუშავების პერსპექტივები

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2019 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის
სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტში

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ემერიტუსი ზ. არაბიძე

რეცენზენტები: პროფესორი ა. აბშილავა

პროფესორი თ. ბუაჩიძე

დაცვა შედგება 2019 წლის „19“ ივლისს, 14⁰⁰ საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის

სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის სადისერტაციო

საბჭოს კოლეგიის № 75 სხდომაზე,

კორპუსი III, აუდიტორია 326

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა – ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი

ასოცირებული პროფესორი

დ. თევზაძე

შესავალი

თემის აქტუალურობა. სამთომამდიდრებელი საწარმოების ფუნქციონირების შედეგად წარმოქმნილი ნარჩენები თავიანთი მარაგების მაშტაბებიდან გამომდინარე და მათში სასარგებლო კომპონენტების შემცველობის მიხედვით განიხილება, როგორც მეორადი ტექნოგენური საბადოები, რომლებიც გარემოს დაბინძურების გლობალურ საფრთხეს წარმოადგენენ. ატმოსფერული ნალექების ზემოქმედებით მიმდინარეობს სულფიდების შემცველი ნარჩენების ბუნებრივი გამოტუტვა, რაც იწვევს გრუნტის წყლების დაბინძურებას მძიმე ლითონებით და ტოქსიკური ნაერთებით. ამასთან ერთად ნარჩენების განთავსება ხდება მიწის დიდ ფართობებზე, რაც თავისთავად სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების შემცირებას იწვევს. ტექნოგენური ნედლეულის ექსპლოატაციაში ჩართვით შესაძლებელი ხდება ბუნებაში არაგანახლებადი მინერალური ნედლეულის დაზოგვა და იმავდროულად გარემოზე ანტროპოგენური დატვირთვის შემცირება. აქედან გამომდინარე წარმოების ნარჩენების, განსაკუთრებით ფლოტაციის კუდების გადამუშავება ორმაგი ეფექტის მატარებელია. ერთის მხრივ მიიღება დამატებითი სასაქონლო პროდუქცია, ხოლო მეორეს მხრივ შესაძლებელი ხდება სასარგებლო მიწის ფართობების გამოთავისუფლება და სამრეწველო რეგიონში ეკოლოგიური პრობლემის მოგვარება.

მადნეულის ოქრო სპილენძ-პოლიმეტალური საბადოდან სპილენძის მადნების მოპოვების და გამდიდრების 40 წელზე მეტი დროის განმავლობაში საწარმოს ტერიტორიაზე, კუდსაცავში, დაგროვილია 50 მლნ ტონა ტექნოგენური მინერალური ნარჩენი, რომელიც შეიცავს ოქროს, ვერცხლს, სპილენძს, თუთიას და იშვიათ მეტალებს Se და Te. მათში სპილენძის საშუალო შემცველობა 0,22-0,24 %, ოქროსი – 0,61-0,65 გ/ტ, ხოლო ვერცხლის 2,16-8,0 გ/ტ-ს შეადგენს. აქედან გამომდინარე სულფიდური მადნების გამდიდრების ტექნოგენური მინერალური ნარჩენების გადამუშავება აქტუალურია.

სამუშაოს მიზანი. სადისერტაციო სამუშაოს მიზანია იაფი, ეკოლოგიურად სუფთა და კომბინირებული ტექნოლოგიის შემუშავება ოქროს, ვერცხლის და სპილენძის ამოსაღებად მადნეულის სპილენძ-პოლიმეტალური მადნების ფლოტაციის დასაწყობებული კუდების გადასამუშავებლად, რომელშიც გამდიდრების კლასიკური მეთოდებთან ერთად გამოყენებული იქნება ბიოგეოტექნოლოგიური მეთოდებიც.

კვლევის ძირითადი ამოცანები:

1. ოქროშემცველი სპილენძის კოლჩედანური მადნების და ტექნოგენური ნარჩენების გადამუშავების თანამედროვე მდგომარეობის ანალიზი და განვითარების პერსპექტივები;
2. მადნეულის საბადოს მჟავე კარიერული წყლებიდან რკინა და გოგირდდამჟანგველი ავტოტროფული აციდიფილური მიკროორგანიზმების გამოყოფა, გააქტიურება და შეგუება საკვლევ ობიექტთან;
3. საკვლევ ობიექტის, სპილენძ-კოლჩედანური მადნების ფლოტაციის დასაწყობებული კუდების, ნივთიერი შედგენილობის შესწავლა (მინერალოგიური, გრანულომეტრიული, ქიმიური და ფაზური ანალიზები);
4. მადნეულის მეორადი კვარციტების გროვული ციანირების მეთოდით გამოტუტვის ნარჩენების ნივთიერების შედგენილობის შესწავლა და მათი დამუშავება ჰეტეროტროფული სილიკატური ბაქტერიებით (*Bacillus mucilagenosus*) მათი, როგორც მინერალ მატარებლის გამოყენების მიზნით Geocoat-ის მეთოდის მიხედვით დასაწყობებული კუდების გროვული ბაქტერიული ქიმიური გამოტუტვის პროცესში.;
5. დასაწყობებული ფლოტაციის კუდების სხვადასხვა ვარიანტით გადამუშავების პროცესების კვლევა;
6. მიღებული ნარჩენების გამოყენების შესაძლებლობის კვლევა დაბალი ხარისხის მინის ტარის, სილიკატური აგურის და უჯრედული ბეტონის წარმოებაში;

7. დასაწყობებული კუდების გადამუშავების პრინციპული ტექნოლოგიური სქემის შერჩევა.

ნაშრომის მეცნიერული სიახლე. სადისერტაციო კვლევის სფერო მოიცავს შემდეგი სახის მეცნიერულ სიახლეებს:

1. პირველად არის გამოყენებული მადნეულის საბადოს სპილენძ-პირიტული მადნების ფლოტაციის დასაწყობებული კუდების გადასამუშავებლად მადნეულის საბადოს მჟავე კარიერული წყლებიდან გამოყოფილი რკინა და გოგირდმჟანგავი ავტოტროფული აციდოფილური თიობაქტერიების *Acidithiobacillus ferrooxidans* და *Acidithiobacillus thiooxidans* ასოციაცია. შესწავლილია და დადგენილია მათი გამოყენების შესაძლებლობა აღნიშნული ობიექტის გადასამუშავებლად;
2. საკვლევი ობიექტიდან ოქროს და ვერცხლის გასახსნელად ტუტე ლითონების ციანიდები შეცვლილია ეკოლოგიურად სუფთა გამხსნელით თიოშარდოვანით. ახსნილია და ნაჩვენებია მისი გამოყენების უპირატესობა აღნიშნული ობიექტიდან ოქროს და ვერცხლის გასახსნელად;
3. პირველად არის გამოყენებული მეორადი კვარციტების გროვული ციანიდების მეთოდით გამოტუტვის ნარჩენები, როგორც მინერალ მატარებელი, სპილენძ-პირიტული მადნების ფლოტაციის დასაწყობებული კუდების გროვული ბაქტერიული დაჟანგვა-გამოტუტვის მეთოდით გადამუშავების დროს;
4. პირველადაა შემუშავებული ს.ს. მადნეულის ტერიტორიაზე განთავსებული ორი ტექნოგენური ნარჩენის (სპილენძ-პირიტული მადნების ფლოტაციის დასაწყობებული კუდები და მეორადი კვარციტების გროვული ციანიდების მეთოდით გამოტუტვის ნარჩენები) ერთობლივი გადამუშავების იაფი, ეკოლოგიურად სუფთა კომბინირებული ტექნოლოგია.

კვლევის მეთოდიკა. ლაბორატორიულ ექსპერიმენტებთან ერთად გამოყენებულია ფიზიკური და ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები. მადნეულის

სპილენძ-პირიტული მადნების ფლოტაციის დასაწყობებული კუდების, მადნეულის მეორადი კვარციტების გროვული ციანირების მეთოდით გამოტუტვის ნარჩენების ნივითერი შედგენილობის და მადნეულის მჟავე კარიერული წყლებიდან გამოყოფილი მიკროორგანიზმების შესასწავლად გამოყენებულია მიკროსკოპული და ანალიზის ქიმიური მეთოდები, ატომურ-აბსორბციული სპექტროფოტომეტრია, pH-მეტრია, ფაზური ანალიზი, ფლოტაცია, ოქროს და ვერცხლის ციან და თიოშარდოვანას ხსნარებში გასახსნელად ლაბორატორიული აგიტატორები, აეროლიფტური პერკოლატორები გროვული გამოტუტვის პროცესების ლაბორატორიულ პირობებში მოდელირებისათვის.

გამოყენების სფერო. ავტორის მიერ დამუშავებული ტექნოლოგია იძლევა საშუალებას წარიმართოს ეკოლოგიურად სუფთა და უნარჩენო გადამუშავების პროცესი. ამ მეთოდის გამოყენებით უზრუნველყოფილი იქნება ოქროს, ვერცხლის, სპილენძის, რკინის ამოღება და დეპირიტიზირებული ბიოგამოტუტვის ნარჩენების, კვარცის სილის ნაცვლად გამოყენება დაბალი ხარისხის მინის და უჯრედული ბეტონის მისაღებად.

აღნიშნული ტექნოლოგიით შესაძლებელია ფერადი ლითონების შემცველი მინერალიზებული ქანების ღარიბი ძნელადგადასამუშავებელი ოქროშემცველი მადნების და ოქროშემცველი ფერადი ლითონების მედეგი ფლოტოკონცენტრატების ერთობლივი გროვული გადამუშავება.

თავი 1. ოქროშემცველი სპილენძის მადნებისა და გამდიდრების ნარჩენების გადამუშავების თანამედროვე მდგომარეობა

მადნეულის ოქრო-სპილენძ-პოლიმეტალური საბადო წარმოდგენილია სამი სამრეწველო ტიპის მადნით: ბარიტ-პოლიმეტალური, სპილენძ-კოლჩედანური და ოქროსშემცველი კვარციტებით.

სპილენძ-კოლჩედანური მადნები ბარიტ-პოლიმეტალური მადნების ცენტრალური ნაწილის სამხრეთით არის განლაგებული და მიწის

ზედაპირზე გამოსავალი არ აქვს. მადნიანი სხეულის სამკუთხედი ფორმისაა და სამი ნასხლეტით არის შემოფარგლული, მათ შორის განედური მიმართულების ნასხლეტი მადნეულის საბადოს ფორმირების ძირითად მადანწარმომქნელ სტრუქტურად არის მიჩნეული. მადნიანი სხეული განლაგებულია თითქმის ჰორიზონტალურად 30-35 მ სიღრმეზე და გამოფიტული ტუფებით არის გადაფარული.

დღეისათვის სს „RMG Copper“-ი და შპს „RMG Gold“-ის კუთვნილ საწარმოებში ხდებოდა ოქრო-სპილენძის მადნის, საყდრისის და მადნეულის საბადოების ოქროსშემცველი კვარციტების გადამუშავება. მამდიდრებელ ფაბრიკაზე ფლოტაციის მეთოდით სპილენძის მადნებიდან ღებულობენ სპილენძის კონცენტრატს, რომელშია ამოიკრიფება მადანშ არსებული ოქროს ნაწილი, ხოლო ნაწილი რჩება პირიტულ კუდში, რომლის დასაწყობებაც ხდება კუდსაცავში. კვარციტებიდან ოქროს და ვერცხლის ამოსაღებად იყენებენ გროვული ციანირების მეთოდს.

უკანასკნელ პერიოდში მოპოვებულ მადნებში ასპილენძის შემცველობა მცირდება, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ საბადო თანდათან ღარიბდება, ამიტომ სს „RMG Copper“-ის უახლოესი წლების პერსპექტივები უკავშირდება მინერალური ნედლეულის კომპლექსურ ათვისებას, რაც გულისხმობს არაკონდიციური მადნების და დასაწყობებული კუდების ექსპლუატაციაში ჩართვას.

ოქროსშემცველი სპილენძის სულფიდური მადნების გადამუშავების ტექნოლოგია გამოირჩევა შედარებით სიმარტივით და განისაზღვრება მადნის ტიპით (ჩაწინწკლული თუ მასიური), სპილენძის მინერალების შედგენილობით, ფუჭი ქანების მინერალებით, მათი ჩაწინწკულობის ზომით, პირიტის ფლოტოაქტიურობით, მინერალების დაშლამების უნარით და სხვ. ამ ფაქტორებით განისაზღვრება უწინარეს ყოვლისა სტადიურობა და ფლოტაციური სქემების ტიპი - კოლექტიური ან პირდაპირი სელექციური.

ოქროს და სპილენძის ფლოტაციისათვის იყენებენ ეთილის და ბუთილის ქსანტოგენატებს, ბუთილის და კრეზოლის აეროფლოტებს.

ეფექტურია ბუთილის ქსანტოგენატის (25-50 გ/ტ) და ბუთილის ან კრეზოლის აეროფლოტის (25-30 გ/ტ) ნარევის გამოყენებაც. ამჟამებლად შეიძლება გამოყენებული იქნეს ფიჭვის ზეთი, T-66. კონცენტრატებში სპილენძის ძნელადფლოტირებადი მინერალების გადასაყვანად საკონტროლო ოპერაციებში იყენებენ ნატრიუმის სულფიდს. პირიტის დეპრესიისათვის იყენებენ კირს იმ ანგარიშით, რომ თხევად ფაზაში CaO-ს კონცენტრაცია შეადგენდეს 0,04-0,08%-მდე. პირიტის დეპრესიისათვის, ასევე ხმარობენ დინატრიფოსფატს.

ყველა სქემის საერთოა ოქროსშემცველი სპილენძის კონცენტრატის მიღება. ფერადი ლიტნების შემცველი მადნების გამდიდრების პროცესების შედეგად დარჩენილი არაკონდიციური მინერალური მასა დასაწყობებულია კუდსაცავებში, რაც გარემოს დაბინძურების გლობალურ საფრთხეს ქმნის, განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც ისინი სულფიდებს შეიცავენ. ატმოსფერული ნალექების ზემოქმედებით მიმდინარეობს მათი ბუნებრივი გამოტუტვა, რაც იწვევს გრუნტის წყლები დაბინძურებას მძიმე ლიტნებით.

დღეისათვის სამეცნიერო-ტექნოლოგიური სფეროს განვითარების პრიორიტეტი გახდა ტექნოგენური ნედლეულის კომპლექსური და ღრმა უტილიზაცია. ამ საკითხების გადაწყვეტა დაფუძნებულია ნარჩენების ფიზიკო-ქიმიური და ტექნოლოგიური თვისებების შესწავლაზე და შედეგად გადამუშავების ისეთი ინოვაციური, კომბინირებული, ეკოლოგიურად სუფთა და იაფი ტექნოლოგიების შემუშავებაზე, რომლის გამოყენებითაც აღნიშნული ტიპის ნედლეულიდან სასარგებლო კომპონენტების მაქსიმალური ამოღება გახდება შესაძლებელი.

კუდების კომპლექსური ეფექტური გადამუშავება შესაძლებელია მცირენარჩენიანი კომბინირებული გადამუშავების მეთოდებით, პულპის შემზადებით, ფრაქციებად დაყოფით, გრავიტაციული, ფლოტაციური და ქიმიურ-მეტალურგიული პროცესების შეთავსებით, ენერგეტიკული ზემოქმედების და გამდიდრების სხვა პროცესების გამოყენებით.

დღეისათვის მსოფლიოში როგორც სპილენძის, ასევე ოქროს ამოსაღებად ღარიბი ნედლეულიდან ძირითადად იყენებენ გროვითი

გამოტყუტვის მეთოდს. მეთოდის გამოყენება ეფექტურია ისეთი ნედლეულის გადასამუშავებლად როდესაც სასარგებლო კომპონენტების ამოღება ჩვეულებრივი გამდიდრების და ჰიდრომეტალურგიული მეთოდებით (გამოტუტვა ავზებში, ავტოკლავებში და სხვა აპარატებში) მოცემულ ეტაპზე არარენტაბელურია. გროვითი გამოტუტვის მეთოდით სპილენძის მწარმოებელ მსოფლიოს უმსხვილეს კომპანიებს წარმოადგენენ „Codelco“, „BHP Billiton“, „Freeport“ რომლებიც ამ მეთოდით სპილენძს აწარმოებენ ძირითადად ჩილეში, ხოლო გროვითი გამოტუტვის ტექნოლოგიით აწარმოებენ ოქროს უმსხვილესი მსოფლიო კომპანიები „Newmont“, Barrick Gold“, „Eldorado Gold“ შემდეგ ქვეყნებში: პერუ, არგენტინა, აშშ, თურქეთი, ჩინეთი., ხოლო ბაქტერიული გროვული გამოტუტვის მეთოდით ხდება ფლოტაციის კუდების გადამუშავება ჩილეში ოქრო-სპილენძის შემცველი მადნების საბადოზე „Tambo“.

თავი 2. ოქროშემცველი სულფიდური მადნების

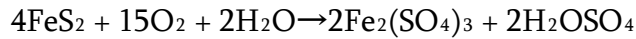
ბაქტერიული გამოტუტვის პროცესების კვლევა

პირიტში წვრილდისპერსიული სახით ჩართული ოქროს ამოსაღებად ციანირების მეთოდი არაეფექტურია, საჭიროა სულფიდური მინერალების დესტრუქცია და ციანირების პროცესის წინ ოქროს ნაწილაკების გამონთავისუფლება, რისთვისაც პრაქტიკაში გამოყენებულია დამჟანგველი გამოწვის და ავტოკლავური გამოტუტვის მეთოდები.

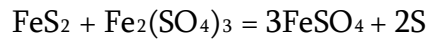
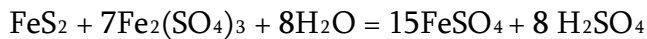
სულფიდების ბაქტერიალური დაჟანგვა-გამოტუტვის მეთოდი წარმოადგენს დამჟანგველი გამოწვის და ავტოკლავური გამოტუტვის მეთოდების ალტერნატიულ მეთოდს. ბაქტერიული დაჟანგვა გამოტუტვის მეთოდის არსი მდგომარეობს შემდგომში: ნორმალური ატმოსფერული წნევისა და ტემპერატურის პირობებში ავტოტროფული აციდოფილური თიობაქტერიები შლიან სულფიდური მინერალების კრისტალურ მესერს, რის შედეგადაც ფერადი ლითონების და რკინაშემცველი სულფიდების შემთხვევაში ფერადი ლითონები და რკინა დადებითი იონების, ხოლო გოგირდი SO_4^{2-} იონის სახით გადადიან ხსნარში. ხსნარში წარმოიქმნება

ორი აქტიური აგენტი, სამვალენტო რკინის სულფატი და გოგირდმჟავა, ხოლო ბიოკევიზში დარჩენილი ოქროს გამიშვლებული ნაწილაკები ხელმისაწვდომი ხდება გამხსნელისათვის.

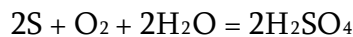
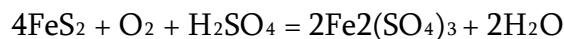
პირიტის ბაქტერიულ-ქიმიური დაჟანგვის სავარაუდო რეაქცია იქნება:



ეს არის პირდაპირი გზით დაჟანგვა. ბაქტერიების მიერ წარმოქმნილი $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ თავის მხრივ მოქმედებს პირიტზე და ჟანგავს მას FeSO_4 -ის და ელემენტური გოგირდის წარმოქმნით



მომდევნო სტადიაზე ორვალენტო რკინა და ელემენტური გოგირდი მჟავა არეში იჟანგება რკინა და გოგირდამჟანგავი ბაქტერიებით - *Acidithiobacillus ferrooxidans* და *Acidithiobacillus thiooxidans* - შემდეგი რეაქციით



პირიტის დაჟანგვის ეს გზა განიხილება, როგორც ირიბი.

გამოკვლევებით ნაჩვენებია, რომ კრისტალური მესერის პირდაპირი დაშლის მექანიზმის საფუძველს, ბაქტერიების მონაწილეობით, წარმოადგენს ელექტროქიმიური (კოროზიული) პროცესი, რომლის აქტივიზაციასაც ახდენენ ბაქტერიები. ეს მექანიზმი ბოლომდე არ არის ახსნილი. ნაჩვენებია, რომ ბაქტერიები სულფიდურ მინერალებთან კონტაქტისას ცვლიან მის ელექტროდულ პოტენციალს, გამოდიან მინერალის ზედაპირის დეპოლიზატორის როლში, ჟანგავენ რა S^0 და Fe^{2+} -ს და ცვლიან არის (ელექტროლიტის) Eh-ს, რითაც ქმნიან მკვეთრ დამჟანგველ სიტუაციას.

ყოველ სულფიდურ მინერალს თავისი კრისტალური სტრუქტურულიდან გამომდინარე დამჟანგველი პროცესის მიმართ განსხვავებული მდგრადობები გააჩნია. გოგირდმჟავა ხსნარში $\text{pH} = 2,5$ დროს შედარებით ცნობილი მინერალების მდგრადობა ზრდის მიმართულებით: ჰალკოზინი

(0,35 ვ), სფალერიტი (0,35 ვ), ჰალკოპირიტი (0,40 ვ), პიროტინი (0,45 ვ), ტეტრაედრიტი (0,45 ვ), პენტლანდიტი (0,55 ვ), პირიტი (0,55-0,60 ვ).

სულფიდების ბაქტერიული დაჟანგვის კოროზიული მოდელის თანახმად დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მინერალების ურთიერთკონტაქტირების მოვლენას. მადნები პრაქტიკულად ყოველთვის წარმოადგენენ პოლიმინერალურ ასოციაციებს. ხსნარ - ელექტროლიტში ჩაშვებული კონტაქტირებული მინერალები წარმოქმნიან გალვანურ წყვილს, რომელშიც მაღალი პოტენციალის მქონე მინერალი ასრულებს კათოდის (დამჟანგველის) როლს, ხოლო დაბალი პოტენციალის - ანოდის. ანოდის მინერალის დაჟანგვის ხარისხი პირდაპირპროპორციულია გალვანურ წყვილში შემავალი მინერალების ელექტროდული პოტენციალების სხვაობის.

ღარიბი არამედეგი ოქროშემცველი მადნებიდან ოქროს ამოღების იაფ მეთოდს წარმოადგენს გროვული ციანირების მეთოდი, რომელიც ფართოდ გამოიყენება მთელ რიგ ოქროსმომპოვებელ ქვეყნებში, დღეისათვის ღარიბი მედეგი ოქროშემცველი მადნებისათვის შესაძლებელია გამოიყენებული იქნეს ციანირების წინ სულფიდების წინასწარი ბაქტერიული დაჟანგვის გროვული ვარიანტი, შემდგომში მყარ მასაში დარჩენილი გამონთავისუფლებული ოქროს ციანირებით.

დღეისათვის ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუარესების გამო სამთამადნო მრეწველობის მიმართ გამკაცრებული მოთხოვნები ციანიდების ალტერნატიული მეთოდების გამოყენების აუცილებლობას აყენებს დღის წესრიგში. ერთ-ერთ ასეთ მეთოდს წარმოადგენს თიოკარბამიდის (თიოშარდოვანა) მჟავე ხსნარებში ოქროს და ვერცხლის გახსნა.

ოქროსა და ვერცხლის თიოკარბამიდის მჟავა ხსნარებში გახსნის პროცესების ფიზიკო-ქიმიური კანონზომიერების შესწავლას მრავალი კომპლექსური სამუშაო მიეძღვნა.

ამ მიმართულებიდან ყველაზე საყურადღებოა ი. პლაქსინისა და მ. კოჟუხოვას კვლევები. მათ პირველებმა გამოთქვეს მოსაზრება დარიშხან და

ანთიმონ შემცველი მადნებიდან ოქროს გამოსატუტად თიოკარბამიდურლი მეთოდის გამოყენების შესახებ.

თიოკარბამიდული გამოტუტვის პროცესს საფუძვლად უდევს ოქროს თვისება თიოკარბამიდთან წარმოქმნას კომპლექსი $\{Au[CS(NH_2)_2]^+$ რომელიც წყალში საკმაოდ მაღალი ხარისხით იხსნება. აუცილებელია ორი ძირითადი პირობის დაცვა:

1. გამოყენებული უნდა იყოს საკმაოდ ეფექტური დამჟანგველი, რომელსაც შეუძლია მეტალური ოქროს გადაყვანა იონურ მდგომარეობაში, ამასთან ის არ უნდა ჟანგავდეს თიოკარბამიდს;
2. სარეაქციო არის შენარჩუნება pH=3-3,5-ის ფარგლებში, რათა უზრუნველყოფილი იქნას წარმოქმნილი კომპლექსის დაცვა დაშლისაგან.

ამ პირობების მიღწევა შესაძლებელია პულპაში აუცილებელი რაოდენობის გოგირდმჟავას და სამვალენტიანი რკინის სულფატის შეტანით.

ხსნარებში გოგირდმჟავას შემცველობა გავლენას არ ახდენს თიოკარბამიდით ოქროს გახსნის სიჩქარეზე და არც გახსნის რეაქციაში ლეზულობს მონაწილეობას. მისი გამოყენება ტექნოლოგიურ პროცესებში გამოწვეულია იმით, რომ შენარჩუნებული იყოს ოქროს თიოკარბამიდული კომპლექსი, რომელიც მდგრადია მხოლოდ $pH \leq 3,5$ და ამავე დროს იგი ხელს უშლის რკინის სულფატის ჰიდროლიზს.

რაც შეეხება Ag_2S და ვერცხლის სხვა სულფიდურ ფორმებს მათი თიოკარბამიდის მჟავა ხსნარებში გახსნის სიჩქარე ბევრად მეტია ვიდრე ნატრიუმის ციანიდის შემთხვევაში.

თავი 3. მადნეულის სულფიდური მადნების ტექნოგენური

ნარჩენების ნივთიერი შედგენილობის შესწავლა

მადნეულის სპილენძ-პირიტული მადნების ფლოტაციის დასაწყობებული კუდების ტექნოლოგიური სინჯის ნივთიერი

შედგენილობის (გრანულომეტრიული, მინერალოგიური, ქიმიური, ფაზური) შესწავლის შედეგად დადგენილი იქნა, რომ დასაწყობებული კუდი მიეკუთვნება ძალიან წმიდა სილების კლასს. ძირითად კლასს წამოადგენს ნაწილაკები დიამეტრით 0,1-0,01მმ (58,3%), რომლის ხვედრითი ზედაპირის ფართობი შეადგენს 1146 სმ²/გ, მთლიანად კუდის კი - 1238 სმ²/გ-ს; ხვედრითი წონა - 2,67 გ/სმ³-ს, ხოლო მოცულობითი ნაყარი მასა - 1,41 გ/სმ³-ია.

მინერალოგიური ანალიზით დადგინდა, რომ პირიტის ფარდობითი რაოდენობა -0,074 მმ და - 0,63 + 0,074 მმ სისხოს კლასებში თითქმის თანაბარია ≈10%-მდე, ბევრად ნაკლებია ქალკოპირიტი, ჭარბობს კოველინი და ქალკოზინი. არამადნეული მინერალების (სერიციტი, კვარციტი, ალუნიტი, კალციტი) რაოდენობა 90%-ს ფარგლებშია.

ქიმიური ანალიზით ნაჩვენები იქნა, რომ კუდებში სპილენძის რაოდენობა შეადგენს 0,22%-ს, გოგირდის საერთო რაოდენობა 6,1%-ია, ხოლო სულფიდურის 6,0%, რკინის რაოდენობა 9,8%-ია. ოქროს საშუალო შემცველობა 0,6 გ/ტ, ვერცხლის 3,2 გ/ტ. ცხრილი 1.

ცხრილი 1

დასაწყობებული კუდების ქიმიური ანალიზი

შემცველობა %, გ/ტ															
სინესტე	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	P ₂ O ₅	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	S _o სულფ	S საერთო	Cu	Au	Ag
1,0	74,3	2,51	9,8	5,4	0,07	კვალი	0,85	0,97	1,0	1,4	6,0	6,1	0,22	0,6	3,2

ოქროს და სპილენძის ფაზური ანალიზით დადგინდა (ცხრილი 2, 3), რომ კუდებში ოქროს ~ 72,0% წვრილდისპერსული სახით დაკაფსულირებულია პირიტში, ციანირებადი ოქროს მაქსიმალური წილი ~ 23,0%-ს შეადგენს. სპილენძის პირველადი სულფიდების წილი შეადგენს 15,3%, მეორადის - 69,7%-ს, ხოლო დაჟანგულის -15,0%-ს.

თერმული და რენტგენოფაზური ანალიზები აჩვენებს რომ, კუდები ძირითადად შედგება კვარცისგან რაზეც ნათლად მიუთითებს

თერმოგრამაზე (სურ.1) ენდოთერმული ეფექტი 575°C ტემპერატურაზე (კვარცის პოლიმორფული გარდაქმნა) და ხაზები რენტგენოგრამაზე (სურ.2) d α/n 4,25; 3,34; 2,45; 1,82.

ცხრილი 2

დასაწყობებულ კუდში ოქროს არსებობის ფორმები

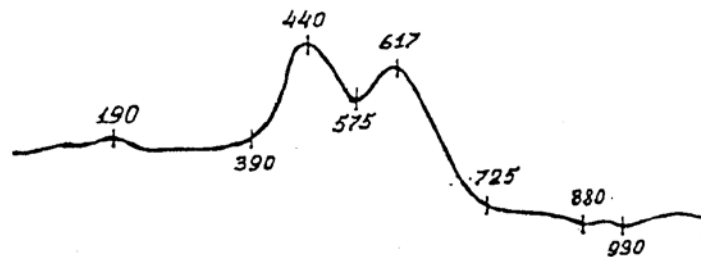
საწარმო	ოქროს განაწილება, %				
	თავისუფალი ოქრო	შენაზარდებში	მჟავაში ხსნად მინერალებში (მედვეგი)	სულფიდებში	ქანებში
ს.ს. მადნეული	6,8-8,0	14,0-15,0	4,1-4,4	70,0-72,0	4,0-5,0

ცხრილი 3

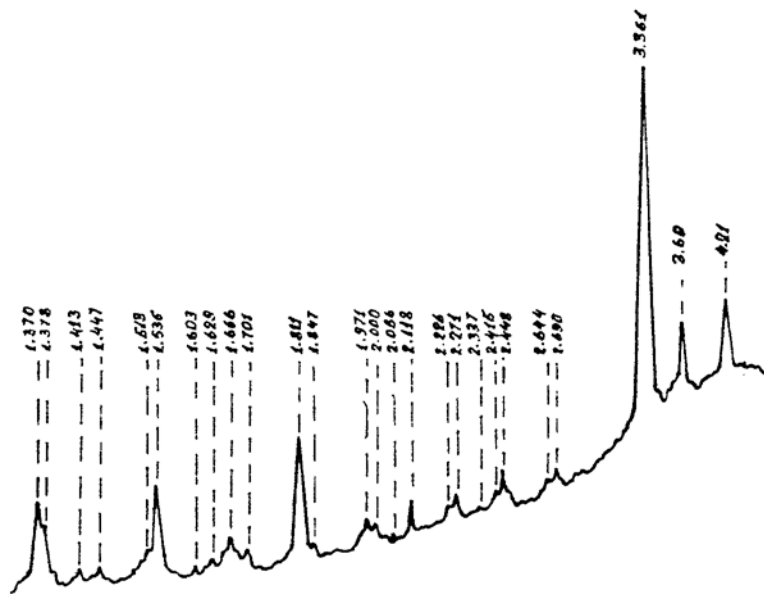
დასაწყობებულ კუდებში სპილენძის ფაზური ანალიზის შედეგები

კუდებში სპილენძის შემცველობა, %	სპილენძი სულფიდური ფორმით, %		სპილენძი დაჟანგული ფორმით, %
	პირველადი	მეორადი	
0,22	0,034	0,15	0,03
100,0	15,3	69,7	15,0

კუდებში პირიტის შემცველობაზე მიუთითებს აგრეთვე ხაზები რენტგენოგრამაზე 2,70; 2,56. თერმოგრამაზე აღნიშნულია ეკზოთერმული ეფექტი (დესულფურიზაცია) 450-500°C ტემპერატურაზე.



სურათი 1. ფლოტაციის კუდების თერმოგრამა



სურათი 2. გამდიდრების კუდების რენტგენოგრამა

თავი 4. მადნეულის ტექნოგენური ნარჩენების გადამუშავების ტექნოლოგიის შემუშავება

სპილენძ-კოლჩედანური მადნეულის ფლოტაციის დასაწყობებული კუდების ნივთიერი შემადგენლობის ანალიზის საფუძველზე დადგინდა, რომ საკვლევი ობიექტი წარმოადგენს წვრილმარცვლოვან, ღარიბ, მედეგ ნედლეულს. ოქროს და სპილენძის შემცველი ღარიბი ნედლეულისათვის მსოფლიო პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება გროვული გამოტუტვის მეთოდი, მაგრამ, რადგანაც ჩვენი საკვლევი ობიექტი წარმოადგენს მედეგ სულფიდურ ნედლეულს, ამიტომ ოქროს ნაწილაკების გამონთავისუფლებლად საჭიროა პირიტის დესტრუქცია. დამჟანგველი გამოწვის და ავტოკლავური გამოტუტვის ნაცვლად კვლევებში გამოვიყენეთ ბაქტერიული დაჟანგვა-გამოტუტვის მეთოდი, ოღონდ გროვულ ვარიანტში. საკვლევი ობიექტი წარმოადგენს წვრილმარცვლოვან მასალას. ჩატარებული ექსპერიმენტით დადგინდა, რომ მასში სამუშაო ხსნარის (ბაქტერიული ხსნარის) ფლოტაციის სიჩქარე დაბალია - 0,3 მ/დღე-ღამე. ფილტრაციის

ხარისხის გაზრდა შესაძლებელია ნაწილაკების გამსხვილებით. გროვული გამოტუტვა, როგორც მსოფლიო პრაქტიკა აჩვენებს ეფექტურად მიმდინარეობს როდესაც ნაწილაკების სისხო ≥ 4 მმ, ხოლო ფილტრაციის სიჩქარე აღემატება 0,5-1,0 მ/დღე-ღამე.

ყოველივე ამის გათვალისწინებით გადავწყვიტეთ კვლევების განხორციელება შემდეგი მიმართულებით:

ა) დასაწყობებული კუდების ბაქტერიულ-ქიმიური დაჟანგვა-გამოტუტვა, ოღონდ გროვულ ვარიანტში;

ბ) დასაწყობებული კუდების კოლექტიური სულფიდური ფლოტაცია, მიღებული კოლექტიური სულფიდური კონცენტრატის ჩანური ბაქტერიულ-ქიმიური დაჟანგვა გამოტუტვა;

გ) კოლექტიური სულფიდური კონცენტრატის და მეორადი კვარციტების გროვული ციანირების ნარჩენების ერთობლივი გროვული ბაქტერიულ-ქიმიური დაჟანგვა-გამოტუტვა.

სამივე ვარიანტში ბაქტერიული კეკიდან ოქროს და ვერცხლის ხსნარში გადასაყვანად ციანირების და თიოშარდოვანაში გახსნის პროცესების გამოყენება.

ამ მიზნით გადავწყვიტეთ მოგვეხდინა კუდების ნაწილაკების გამსხვილება, რისთვისაც შევარჩიეთ გრანულირების მეთოდი.

ოქროსა და სპილენძმემცველი ღარიბი ნედლეულის გადამუშავების იაფ მეთოდს წარმოადგენს მისი გადამუშავება გროვული გამოტუტვის მეთოდით.

აეროლიფტურ პერკოლატორებში გამოტუტვა საშუალებას იძლევა შესწავლილი იქნას ბაქტერიული გამოტუტვის პროცესი პასიური ფილტრაციის (მყარ მასაში) რეჟიმში, იგი წარმოადგენს მადნების გროვული გამოტუტვის ლაბორატორიულ მოდელს. კვლევებში გამოყენებული იქნა მადნეულის მადნური მჟავე კარიერული წყლებიდან გამოყოფილი და გააქტიურებული რკინა და გოგირდდამჟანგველი ბაქტერიული კულტურების *Acidithiobacillus ferrooxidans* (*A.th.ferrooxidans*) და

Acidithiobacillus thiooxidans (A.th.thiooxidans) - ის ასოციაცია 2:1 თანაფარდობით.

თიოზაქტერიების სუფთა კულტურების გამოყოფა წარმოებდა დამაგროვებელი კულტურებით. A. th. ferrooxidans დამაგროვებელ კულტურის მიღება ხდებოდა სილვერმანის და ლუნდგრენის საკვები არის (9K) ინოკულაციით მადნური კარიერული წყლების და სანაყაროდან გამომავალი წყლების სინჯებით. ინკუბაცია ტარდებოდა თერმოსტატში 28°C ტემპერატურაზე. პროცესის განვითარებაზე მეტყველებდა საკვები არის ფერის შეცვლა რაც გამოწვეული იყო მოყავისფრო მოწითალო რკინის (III) სულფატის წარმოქმნის გამო. რკინის ბიოლოგიური დაჟანგვის საბოლოო შემოწმება ხდებოდა სისხლის წითელ მარილზე თვისებითი რეაქციით.

A. th. thiooxidans-ის სუფთა კულტურის გამოყოფა ხდებოდა ასევე, ოღონდაც საკვებ არეს წარმოადგენდა ვაკსმანის საკვები არე ელემენტური გოგირდის დამატებით.

მიღებული A. th. ferrooxidans და A. th. thiooxidans აქტიური შტამები გამოვიყენეთ დასაწყობებული კუდების ბაქტერიალური გადამუშავების კვლევების პროცესში.

პატარა პერკოლატორებში ჩატარებული კვლევებით დადგინდა პროცესის ოპტიმალური პარამეტრები, რომელზეც დაყრდნობით ექსპერიმენტი ჩატარდა დიდი ზომის პერკოლატორებში, რომლის შედეგადაც მიღებული იქნა 0,78 გ/ლ სპილენძის შემცველობის ხსნარი (გაიხსნა 70,9% Cu). პროცესის ხანგრძლივობა 127 დღე-ღამე. ბიონარჩენის ციანირებით გაიხსნა 52,2% ოქრო და 43,3 ვერცხლი. თიოზარდოვანის ხსნარით 50,7% ოქრო, 49,1% ვერცხლი.

II მიმართულებით კოლექტიური სულფიდური ფლოტო-კონცენტრაციდან (Au – 1,9 გ/ტ; Ag – 5,0 გ/ტ; Cu - 88%; S – 2,1%; გამოსავალი 23,6%, ოქროს ამოკრეფა 74,4%; ვერცხლის 37,7%, სპილენძის 83,7%, გოგირდის 82,8%) ავზში 240 სთ ბიოდაჟანგვა-გამოტუტვის პროცესის შედეგად მიღებული იქნა 1,5 გ/ლ სპილენძის შემცველობის ხსნარი (გაიხსნა

96,1% Cu), ბიოკევის ციანირებით 94,1% ოქრო და 72,2% ვერცხლი. თიოშარდოვანას წყალხსნარში გახსნით 95,1% ოქრო და 81,2% ვერცხლი, ხოლო პირდაპირი ციანირებით 0,3% NaCN-ის ხსნარით 24 სთ აგიტაციის პირობებში ხსნარში გადადის მხოლოდ 30,0% ოქრო და 41,0% ვერცხლი.

III მიმართულებით ჩატარებული კვლევების დროს გამოყენებული იქნა ფირმა „ Geobiotics“-ის მიერ შემუშავებული მეთოდი „Geocoat“, რომელიც გამოიყენება დარიშხანშემცველი ქალკოპირიტული კონცენტრატების გადასამუშავებლად. ჩვენ კორექტირება შევიტანეთ აღნიშნულ მეთოდში და მივუსადაგეთ ჩვენ სიტუაციას. კერძოდ, სპილენძ-კოლჩედანური მადნების ფლოტაციის დასაწყობებული კუდებიდან მიღებული კოლექტიური ფლოტოკონცენტრატის გროვული ბაქტერიული დაჟანგვა-გამოტუტვის მეთოდით გადამუშავების პრინციპული შესაძლებლობის დადგენის მიზნით გრანულ მატარებლად გამოვიყენებთ მადნეულის მეორადი კვარციტების გროვული ციანირების მეთოდით გამოტუტვის ნარჩენები.

დღეისათვის ოქროზე მოთხოვნილების და ფასების ზრდასთან ერთად მსოფლიო პრაქტიკაში დიდი ყურადღება ექცევა ასეთი ტიპის ნედლეულის (ნარჩენების) ხელმეორედ გადამუშავების საკითხს, რადგანაც მსხვილ-ნატეხოვანი მასალის გროვული მეთოდით ციანირებისას, ნარჩენში, როგორც წესი რჩება ნედლეულში არსებული ოქროს თითქმის ნახევარი და უფრო მეტი ვერცხლი.

ცხრილ 4-5-ში მოცემულია მეორადი კვარციტების გროვული ციანირების ნარჩენში ოქროს და ვერცხლის ქიმიური და ფაზური ანალიზის შედეგები.

ცხრილი 4

მეორადი კვარციტების გროვული ციანირების ნარჩენების ქიმიური ანალიზის შედეგები

შემცველობა, %									
SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	S	Au გ/ტ	Ag გ/ტ
85,4	3,9	2,3	1,2	0,58	0,55	0,1	0,3	0,9	6,2

ნარჩენში ოქროს და ვერცხლის ფაზური ანალიზის შედეგები

ნარჩენში ოქროს და ვერცხლის არსებობის ფორმები	დაფქული 84,5 % -0,074 მმ			
	შემცველობა გ/ტ		განაწილება, %	
	Au	Ag	Au	Ag
ციანიდში ხსნადი ოქრო და ვერცხლი (თავისუფალი და შენაზარდებში)	0,6	3,14	66,7	50,7
ციანიდში უხსნადი ოქრო და ვერცხლი	0,3	3,06	33,3	49,3
მათ შორის:				
ა) აფსკით დაფარული (ხსნადი მარილმჟავაში)	0,2	1,3	22,2	20,9
ბ) სულფიდებთან ასოცირებული (ხსნადი აზოტმჟავაში)-	-	0,33	-	5,32
გ) წმიდად ჩაწინწკლული კვარცში	0,1	1,43	11,1	23,1
საწყისი ნარჩენი	0,9	6,2	100,0	100,0

ლაბორატორიულ პირობებში გროვული გამოტუტვის მოდელირების წინ, მანამ, სანამ მოხდებოდა დასაწყობებული კუდებიდან მიღებული კოლექტიური ფლოტოკონცენტრატის აგლომირება მოცემულ მასალაზე, ჩატარებული იქნა მეორადი კვარციტების გროვული ციანირების ნარჩენის დამუშავება სილიკატური ბაქტერია *Bacillus mucilagenus* კულტურალური ხსნარით 28 დღის განმავლობაში ოქროს გამონთავისუფლების მიზნით კვარციტიდან.

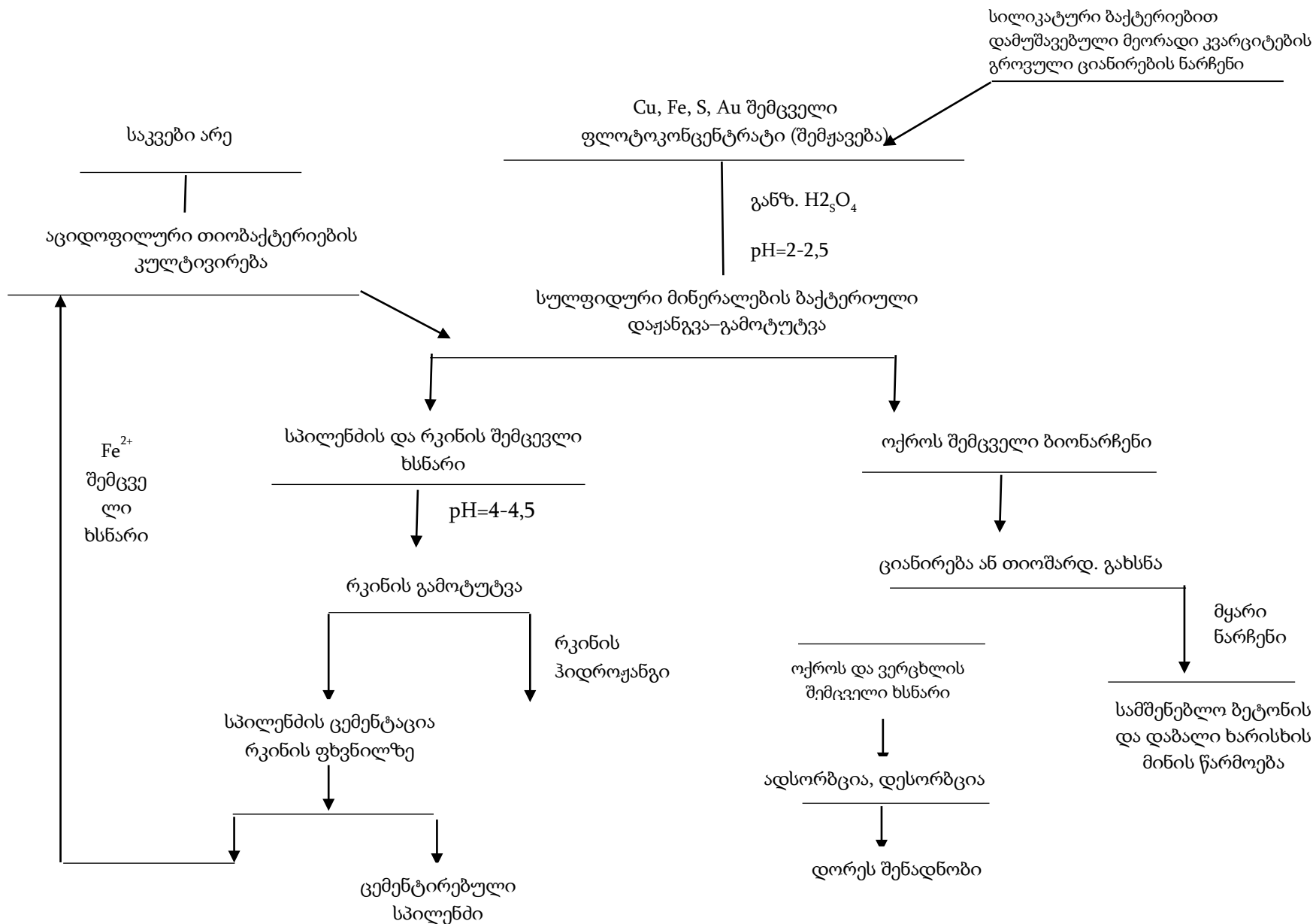
სილიკატური ბაქტერიებით კვარციტების ნარჩენის დამუშავების შემდგომი ციანირებისას ხსნარში ოქროს შემცველობა საშუალოდ 10%-ით გაიზარდა დაუმუშავებელი კვარციტების ნარჩენის ციანირებისას ხსნარში გადასულ ოქროს რაოდენობასთან შედარებით.

სპილენძის მადნების ფლოტაციის კუდებიდან მიღებული კოლექტიური ფლოტაციის კონცენტრატის და კვარციტების გროვული ციანირების მეთოდით გამოტუტვის ნარჩენების ერთობლივი გროვული დამუშავების კვლევები ჩატარდა აეროლიფტურ პერკოლატორებში. პროცესის ჩატარებისათვის მასალა მომზადდა ბარაბანის ტიპის გრანულატორში. მინერალ მატარებელი 70% კლასი -10,0+1,0 მმ, მეორადი კვარციტის გროვული ციანირების ნარჩენი დამუშავებული სილიკატური ბაქტერიით,

30% კოლექტიური სულფიდური ფლოტოკონცენტრატი (დასაწყობებული კუდებიდან), 8% საერთო მასის A.th. ferrooxidans: A.th. thiooxidans 2:1 კულტურალური ხსნარი pH-1,8 რაოდენობით: 2,8 კგ კვარციტის ნარჩენი, 1,2 კგ კონცენტრატი, 600 მლ კულტურალური ხსნარი, ბაქტერიის ტიტრი 10^4 უჯ/მლ. აგლომირებული მასალა 48 სთ-ის შემდეგ ჩაიტვირთა 4 დიდ პერკოლატორში (h-90 სმ, d-14სმ, 108 ლ) ოთხი ერთდროული პარალელური ცდისთვის. თითოეულში 4 კგ ოდენობით, რომელიც შეიცავდა: ოქრო – 1,34 გ/ტ, ვერცხლი – 6,8 გ/ტ, საერთო რკინა – 11,7 %; სულფიდური რკინა 5,4%, საერთო გოგირდი - 6,3%; სულფიდური გოგირდი – 6,0%; სპილენძი– 0,24%.

ჩატარებული კვლევების შედეგად დადგენილი იქნა მადნეულის სპილენძ-პირიტული მადნების დასაწყობებული კუდების და მეორადი კვარციტების გროვული ციანირების ნარჩენის ერთობლივი ბიოდაჟანგვა-გამოტუტვის პრინციპული შესაძლებლობა პერკოლაციის რეჟიმში. ოქროს და ვერცხლის ამოკრეფა 82 დღე-ღამე ბაქტერიული დაჟანგვის შემდეგ ციანირებით შეადგენს შესაბამისად 73,8% და 51,2%-ს, ხოლო თიოშარდოვანით გახსნით 72,5% და 69,2%-ს. ამასთან მიიღება ბაქტერიული ხსნარები საშუალოდ სპილენძის შემცველობით 0,67 გ/ლ და რკინის (III) 12,8 გ/ლ კონცენტრაციით, რომელთა შემდგომი გადამუშავებით მიიღება სპილენძის და რკინის ჟანგის სასაქონლო პროდუქტი (ცემენტაცია, სამვალენტიანი რკინის გამოლექვა გახურება).

ლაბორატორიულ პირობებში ჩატარებული იქნა კვლევები მიღებული ნარჩენების სამშენებლო მასალების და მინის ტარის წარმოებაში გამოყენების შესაძლებლობის დასადგენად, კერძოდ სილიკატური აგურის, უჯრედული ბეტონის და დაბალი ხარისხის სატარე მინის მისაღებად. დადგინდა, მიღებული ნარჩენების გამოყენების შესაძლებლობა აღნიშნული მიზნისათვის.



ნახაზი 1. მადნეულის სპილენძ-პირიტული მადნების ფლოტაციის დასაწყობებული კუდების და მეორადი კვარციტების გროვული ციანირების ნარჩენის ერთობლივი გროვული ბაქტერიულ ქიმიური გადამუშავების პრინციპული ტექნოლოგიური სქემა

ამრიგად შესრულებული კვლევების საფუძველზე ლაბორატორიულ პირობებში შემუშავებულია მადნეულის სპილენძ-პირიტული მადნების ფლოტაციის დასაწყობებულ კუდების და მეორადი კვარციტების გროვული ციანირების ნარჩენების ერთობლივი გროვული ბაქტერიულ-ქიმიური გადამუშავების პრინციპული ტექნოლოგიური სქემა (ნახაზი 1), რომელიც მოიცავს როგორც გამდიდრების, ასევე ბიოგეოტექნოლოგიის პროცესებს. მისი რეალიზაციის შემთხვევაში შესაძლებელი გახდება სამთო მრეწველობის ნარჩენების კომპლექსური უტილიზაცია, რის შედეგადაც შემცირდება რეგიონზე ეკოლოგიური ზეწოლა და შესაძლებელი გახდება რეალიზებული მეტალოპროდუქტებიდან Au, Ag, Cu, Fe₂O₃ დამატებით შემოსავლების მიღება. აღსანიშნავია, რომ შემოთავაზებული სქემა თანხვედრაშია ამჟამად „RMG Copper“ და „RMG GOLD“ კუთვნილ საწარმოებში მიმდინარე პროცესებთან: ფლოტაცია, გროვული გამოტუტვა და მჟავე კარიერული წყლებიდან სპილენძის ცემენტაციით ამოღება.

დასკვნები

1. მადნეულის სპილენძ-პირიტული მადნების ფლოტაციის დასაწყობებული კუდების ნივთიერი შედგენილობის შესწავლის შედეგად დადგინდა, რომ იგი შეიცავს 0,6 გ/ტ ოქროს, 3,2 გ/ტ ვერცხლს, 0,22 % სპილენძს, რომელთა გამოყოფა შესაძლებელია პიდრომეტალურგიული და ბაქტერიული გამოტუტვის მეთოდებით. დადგენილია, რომ კუდებში არსებული ოქროს 70,0-72,0% წვრილდისპერსიული სახით ინკაფსულირებულია პირიტში, 10,0% რკინის ჰიდროჟანგებში და კვარცში. აქედან გამომდინარე იგი წამოადგენს ღარიბ, მედეგ სულფიდურ ნედლეულს, საიდანაც პირიტის დესტრუქციის გარეშე ოქროს ამოღება წარმოადგენს სირთულეს;
2. დასაწყობებული კუდებიდან სასარგებლო კომპონენტების კონცენტრირების მიზნით მიღებულია სულფიდური

ფლოტოკონცენტრატი შემდეგი შემადგენლობით: Au-1,9 გ/ტ, Ag-5,0 გ/ტ, Cu-0,8 % და S=21,1%, ამოკრეფა შესაბამისად შეადგენს 74,4%, 37,5%, 83,7% და 82,8%, ხოლო გამოსავალი 23,6%;

3. ჩატარებული კვლევების საფუძველზე მადნეულის საბადოს მადნური მჟავე კარიერული წყლებიდან და დასაწყობებული კუდებიდან და ახლომდებარე ნიადაგიდან გამოყოფილია ავტოტროფული აცოდიფილური რკინა და გოგირდდამჟანგველი თიო ბაქტერიები *Acidithiobacillus ferrooxidans* და *Acidithiobacillus thiooxidans* და ჰეტეროტროფული სილიკატური ბაქტერიების *Bacillus mucilagenosus* სუფთა კულტურები რომელთა ფიზიოლოგიური მახასიათებლების შესწავლის საფუძველზე გადარჩეულია აქტიური შტამები. ჩატარდა თიობაქტერიების შეგუება გოგირდმჟავას და რკინის (III) მაღალ კონცენტრაციებთან (H_2SO_4 –10 გ/ტ, Fe(III) 15 გ/ლ) ექსპერიმენტებისთვის მომზადდა ბაქტერიების აქტიური კულტურები.
4. მადნეულის მეორადი კვარციტების გროვული ციანირების ნარჩენის ნივთიერი შედგენილობის შესწავლის საფუძველზე დადგენილია, რომ იგი შეიცავს 0,9 გ/ტ ოქროს, 6,2 გ/ტ ვერცხლს, 3,9 % Fe_2O_3 , 2,3% Al_2O_3 და 1,2% CaO. მასში ციანირებადი ოქროს წილი შეადგენს საშუალოდ 66,7%, ხოლო დანარჩენ არაციანირებად ნაწილს წარმოადგენს კვარცში და მჟავაში ხსნად მინერალებში არსებული ოქრო. -10,0+1,0 მმ კლასში, რომლის გამოსავალი შეადგენს 70,0%–ს საშუალოდ თავმოყრილია ნარჩენში არსებული ოქროს 82,1%. -1,0+0 მმ კლასი ოქროთი ღარიბია (0,26 გ/ტ). კვლევებში აღნიშნული ნარჩენების გამოიყენებული იქნა ჩვენს მიერ ჩატარებულ კვლევებში, როგორც მინერალ მატარებელი დასაწყობებული კუდებიდან მიღებული ფლოტოკონცენტრატისათვის;
5. დადგენილია, რომ მეორადი კვარციტების გროვული ციანირების ნარჩენის სილიკატური ბაქტერიით *Bacillus mucilagenosus*

დამუშავების შემდეგ მისი ფორიანობა იზრდება საშუალოდ 10,0% დაუმუშავებელ ნარჩენთან შედარებით.

6. ჩატარდა დასაწყობებული კუდების პირდაპირი ბაქტერიულ დაჟანგვა-გამოტუტვა გროვული მეთოდით. ბიოკეკის ციანირებით და თიოშარდოვანას წყალხსნარში გახსნით. დასაწყობებული კუდების გამოტუტვის პროცესის ლაბორატორიულ პირობებში მოდელირების დროს, რომელიც ჩატარდა აეროლიფტურ პერკოლატორებში გამოყენებული იქნა დასაწყობებული კუდებიდან თეფშის ტიპის გრანულატორზე მიღებული გრანულები (დამატენიანებელს მასის 8% ოდენობით წარმოადგენდა, A.th. ferrooxidans, A.th. thiooxidans ბაქტერიული კულტურის ნარევი 2:1 ფარდობით pH=1,8, ორვალენტიანი რკინის სულფატის ხსნართან). გროვული გამოტუტვა ჩატარებული იქნა შემდეგ პირობებში: გრანულები – 3 კგ, საკვები არე 9კ რკინის გარეშე -5,4 ლ; ბაქტერიული კულტურა 600 მლ, ტიტრი – 10^4 უჯ/მლ; ცდის ხანგრძლივობა 127 დღე-ღამე, აქტიური პერკოლაცია – პაუზა 3 დღე-ღამე. ამ პირობებში გადასული სპილენძის რაოდენობა ტოლია 70,9%-ის. მიღებულია საშუალოდ 0,78 გ/ლ შემცველობის სპილენძის ხსნარი. ნარჩენის ციანირებით გაიხსნა 52,2% ოქრო და 43,3% ვერცხლი, ხოლო თიოშარდოვანას ხსნარში 50,7% ოქრო და 49,1% ვერცხლი ნატრიუმის ციანიდის და თიოშარდოვანის წყალხსნარში ბაქტერიული ნარჩენის გახსნა ჩატარდა აგიტატორში, ვინაიდან პროცესის ხანგრძლივობის გამო მოხდა გრანულების დაშლა;
7. ჩატარებული ექსპერიმენტის საფუძველზე დადგინდა დასაწყობებული კუდებიდან მიღებული კოლექტიური სუფიდური კონცენტრატის პირდაპირი ციანირების არაეფექტურობა. 85,0% კლასი 0,044+0მმ ნიმუშის ციანირებით 0,3% NaCN-ის ხსნართან 24 სთ აგიტაციის პირობებში ხსნარში გადადის მხოლოდ 30,0% ოქრო და 41,0% ვერცხლი;

8. ფლოტოკონცენტრატის ავზში ბაქტერიული დაჟანგვა-გამოტუტვის პროცესის შესწავლის შედეგად დადგინდა პროცესის ოპტიმალური პარამეტრები: მყ:თხ=1:5; $t^{\circ}c=28-30$, $pH=2,0-2,5$; მუდმივი აერაცია, 85,0% კლასი – $0,044\pm 0$ მმ, გამოტუტვის დრო 240 სთ. ამ პირობებში ხსნარში გადადის 96,1% სპილენძი და მისი კონცენტრაცია ხსნარში შეადგენს 1,5 გ/ლ. ბიოკვკის 24 სთ-იანი ციანირებით გაიხსნა 94,1% ოქრო და 72,2% ვერცხლი, ხოლო თიოშარდოვანის ხსნარით 18 საათიანი აგიტაციის პირობებში 95,1 % ოქრო და 81,2% ვერცხლი;
9. ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგად დადგინდა დასაწყობებული კუდებიდან მიღებული კოლექტიური ფლოტოკონცენტრატის და წინასწარ სილიკატური ბაქტერიებით დამუშავებული მეორადი კვარციტების გროვული ციანირების ნარჩენის ერთობლივი გადამუშავების შესაძლებლობა გროვული ბაქტერიული დაჟანგვა-გამოტუტვის მეთოდის გამოყენებით ლაბორატორიულ პირობებში. კუდების და მეორადი კვარციტების აგლომირების პროცესში დამატენიანებელ სითხეს მასის 8% ოდენობით წარმოადგენს ბაქტერიული კულტურის ხსნარის (A.th. ferrooxidans და a.th. thiooxidans 2:1) და ორვალენტიანი რკინის სულფატის ხსნარის ნარევი, $pH=2,0$, ბაქტერიის ტიტრი 10^6 უჯ/მლ.

პროცესის ხანგრძლივობა შეადგენს 82 დღე-ღამეს 5 დღე-ღამე პერკოლაცია, 2 დღე-ღამე პაუზა მიღებული ბაქტერიულ ხსნარში სპილენძის კონცენტრაცია შეადგენს საშუალოდ 0,67 გ/ლ, ხოლო სამვალენტიანი რკინის 12,8 გ/ლ, ხსნარის $pH=2,5$, ბაქტერიული ტიტრი 10^7 უჯ/მლ., საწყისი ტიტრი – 10^3 უჯ/მლ. ხსნარში გადავიდა 84,4% სპილენძი და დაიჟანგა 69,0 % პირიტი.

ბიოკვკის ციანირებით პერკოლაციის რეჟიმში (12 დღე-ღამე) გაიხსნა 73,8% ოქრო და 51,2% ვერცხლი, ხოლო თიოშარდოვანას ხსნარში 14 დღე-ღამის შემდეგ პერკოლაციის პირობებში ხსნარში გადავიდა 72,5% ოქრო და 69,2% ვერცხლი.

იმის გამო, რომ ციანიტების პროცესისათვის საჭიროა ტუტე გარემოს შექმნა, რადგან ბიოგამოტუტვის პროცესი მიმდინარეობს $pH=2,0-2,5$, ხოლო თიოშარდოვანის წყალხსნარში გახსნა $pH=2,5-3,0$ პირობებში და თან პროცესის დროს ხსნარში უკვე გვაქვს აქტიური დამჟავველი – სამვალენტიანი რკინის სულფატი და საჭიროა მხოლოდ თიოშარდოვანას 1,0% ხსნარის დამატება, რადგან უკვე შექმნილია თიოშარდოვანათი გამოტუტვის პროცესისათვის ხელსაყრელი პირობები, ეკოლოგიური და ეკონომიური ასპექტების გათვალისწინებით უპირატესობას ვანიჭებთ ამ უკანასკნელ პროცესს.

ლაბორატორიულ პირობებში შესწავლილია და დადგენილია მიღებული ნარჩენის, როგორც შემავსებლის გამოყენების შესაძლებლობა სილიკატური აგურის, უჯრედული ბეტონის და დაბალი ხარისხის სატარე მინის საწარმოებლად.

აპრობაცია

სადისერცაიო ნარშრომის ძირითადი საკითხები გაშუქდა სტუდენტთა 82-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 2014 წ. აგრეთვე ქ.კიევში 2017 წლის კიევის კონფერენცია თანამედროვე ტენდენციები. 2016-17 წწ. საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენცია, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი. 2016 წ – საერთაშორისო კონფერენცია, ურეკი, საქართველო.

პუბლიკაციები

1. ლომიძე. ნ.ნ, არაბიძე ზ.დ, კაკულია ჯ.გ, კანდელაკი მ.შ, ოქრო შემცველი მედეგი სულფიდური მადნების ფლოტაციის კუდების გადამუშავებისას ბიო და ელექტროქიმიური მეთოდების გამოყენების პერსპექტივები. ჟურნალი „საქართველოს საინჟინრო სიახლენი“. N01 (VOL 81) 2017 თბილისი გვ. 128-132.

2. ნ. ლომიძე, ზ. არაბიძე, ოქროშემცველი სულფიდური მადნების გამდიდრების ნარჩენების გადამუშავების ბიოჰიდრომეტალურგიული „სამთო ჟურნალი“ N1(32), 2014, თბილისი. გვ 58-60.
3. ნ. ლომიძე, ზ. არაბიძე, შ. მალაშხია, ლ. ქართველიშვილი. სპილენძ-კოლჩედანური მადნების დასაწყობებული კუდების გროვითი ბაქტერიულ-ქიმიური გამოტუტვის მეთოდით გადამუშავების საკითხები, „სამთო ჟურნალი“ N2 (39) 2017, თბილისი გვ. 25-28.
4. ნ. ლომიძე, ზ. არაბიძე, ლ. ქართველიშვილი, და სხვა. ძნელად გადასამუშავებელი სულფიდური მადნების გამდიდრების კუდებიდან ოქროს, ვერცხლის და სპილენძის ამოღება ბაქტერიულ - ქიმიური მეთოდის გამოყენებით. საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის მაცნე, ქიმიის სერია N4, 2016, ტომი 42, თბილისი გვ. 529-534. (ინგლისურ ენაზე)
5. ნ. ლომიძე, ე. შაფაქიძე, ლ. ჩოჩია, ი. გეჯაძე, ლ. გაბუნია, ი. ქამუსაძე, მადნეულის საბადოს მეორადი კვარციტების გადამუშავების ნარჩენების გამოყენების შესაძლებლობის კვლევა სამშენებლო მასალების და მინის ტარის წარმოებაში. სამთო ჟურნალი N1 (38) 2017.

Abstract

The Prospects of Processing of Technogenic Wastes of Madenuli Gold Containing Sulfide Ores

At the present time maximum utilization of mineral raw materials is attainable in two ways: I - By minimizing the loss of useful components during the main processing of mineral raw materials, and II - by developing and implementing advanced combined methods in order to process the waste generated through mining and processing activities (technogenic raw materials). Processing of the aforementioned waste has double impact – additional product is made available while nonrenewable natural resources are spared, the life of the mine is extended, and anthropogenic pressure on the environment is reduced which positively impacts the health of future generations.

Since 1975 copper concentrate has been obtained from gold containing copper ores through flotation method in Madneuli Facility. Portion of the gold is extracted from the aforementioned concentrate while some portion remains in pyrite tails which are stored at a designated facility.

Lately, copper content in mined ores has been decreasing which indicates that the mine is gradually depleting. Therefore, “RMG Copper’s” plans for the immediate future entail complex approach to usage of the mineral raw materials

which in turn includes exploitation of lower content ores and stored tails in the process.

The presented dissertation discusses one of the ways to resolve the problem of processing of stored tails generated by the processing of the gold containing copper pyrite ores by the flotation method. Specifically, in order to extract useful components (gold, silver, copper) accumulated in the tails, it offers an environmentally friendly and low-cost combined technological scheme which, in addition to classic enrichment methods, uses biotechnological method – heap bacterial oxidation leaching method.

Based on studying the composition of the stored tails, it was established that given low content of gold (0,6 g/t), silver (3,2 g/t), and copper (0,22%), sulfur (6.0%) and the majority of gold (70,0-72,0%) being finely dispersed in the pyrite ore, it represents a low grade stable sulfide material. Based on these findings, instead of the autoclave leaching and oxidizing roasting method used for sulfide destruction, the heap version of the bacterial oxidation leaching method was used which is widely recognized as accepted method for low grade raw materials and considered low-cost and environmentally clean.

The research was undertaken in three main direction:

- I. Direct bacterial chemical heap leaching of stored tails. Bacterial residues solved by cyanidation or thiurea solution.
- II. Bacterial chemical leaching of the collective sulfide floctoconcentrate in a tank obtained from stored tails. Bacterial residues are solved by cyanidation or thiurea solution.
- III. Combined bacterial chemical leaching of the collective sulfide floctoconcentrate and the residue of the heap method cyanidation of the ore secondary quarcites. Bacterial residues are solved by cyanidation or thiurea solution.

Active cultures of acidophilic autotrophic iron and sulfur oxidizing thiobacteria *Acidithiobacillus ferrooxidans* and *Acidithiobacillus thiooxidans* were obtained from acidic waters of the Madneuli quarry and will be used in the processing of the stored tails.

Due to a low speed (0,3 m/day) of the tail filtration, agglomeration and Geocoat methods were used to increase the filtration speed. Cultural solution of thiobacteria was used along with FeSO_4 with pH=1,9, at 8% of mass. For lab modeling of heap leaching method large and small airlift percolators were used.

Direction I - based on heap oxidation leaching method carried out in optimal conditions, copper solution of 0,78 g/L was obtained (dissolved at copper of 70.9%). The duration of the process was 127 days. Through cyaniding the bio waste 52.2% of gold and 43.3% of silver were attained while through thiurea solution 50,7% gold and 49,1% silver were achieved.

Direction II - through bio oxidization leaching process in a tank for 240 days 1,5 g/L copper containing solution (solved 96,1% Cu) was obtained from collective sulfide floctoconcentrate (Au – 1.9 g/t; Ag – 5,0 g/t; Cu - .88%; S – 2,1%). 94,1% gold and 72,2% silver was attained through cyanidation of biocake and 91,1% gold and 81,2% silver were attained in thiurea solution.

Direction III – the effectiveness of combined processing of flotation concentrate extracted from the stored tails as well as a heap cyanidation residue secondary quarcites treated with silicate microorganism (*Bacillus mucilaginosus*) solution through bacterial oxidizing leaching method in lab environment was established. The process is comprised of two stages: during stage one, pyrite oxidization is undertaken in acidic medium by thiobacteria (*A.th. ferrooxidans*, *A. th. Thiioxidans* solution of 2:1). Two active agents are formed $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ and H_2SO_4 . As a result of pyrite destruction, gold particles are released into copper solution and 0,67 g/l solution is achieved. Fe^{3+} concentration in the solution is 12,8g/l. The duration of the process is 82 days (alternating 5 days of active percolation and a 2 day pause). Bacteria titer comprised 10^7 cell/ml (initially 10^4 cell/ml).

During the second stage a 1,0% thiurea solution is added to the biocake and, after a 14-day percolation, 72,5% of gold and 69,2% silver was attained in the solution while when cyaniding the biocake (12 days), 73,8% of gold and 51,2% of silver was achieved in the solution. It should be noted that at the end of stage one, favorable conditions are created for utilizing thiurea. PH in the solution is 2,5 – 3,0 while PH necessary in the cyanidation process is 10.5 to 11.0.

Based on studies conducted in a lab environment, it was established that there is the possibility of use of resulting waste in building materials such as cell concrete, silicate brick and low grade glass.

As a result of aforementioned research, technological scheme of combined heap bacterial chemical processing of stored tails of copper pyrite ore along with residues of ore secondary quarcite heap cyanidation was developed in a lab environment. In the event the above mentioned scheme is realized, it will enable complex utilization of mining manufacturing waste, lower the environmental impact, and drive additional income from realized metal products (Au, Ag, Cu, Fe_2O_3).