

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თამარ წილოსანი

არსენოპირიტის მადნიდან და მისი გადამუშავების ნარჩენებიდან  
ელემენტური დარიშხანის და ოქროს კონცენტრატის მიღება  
ჰიდრომეტალურგიული მეთოდით

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა- მეტალურგია

შიფრი - 0411

ავტორეფერატი

თბილისი

2017 წ

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის  
მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის დეპარტამენტზე  
სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფესორი **იზოლდა კახნიაშვილი**

რეცენზენტი -----

რეცენზენტი -----

დაცვა შედგება 2017 წლის 11 ივლისი ----- საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სადისერტაციო საბჭოს  
ხსდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია -----  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს

ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატის -ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

**თემის აქტუალურობა:** ლითონური დარიშხანი და მისი ნაერთები ფართოდ გამოიყენება სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგში, კერძოდ ნახევარგამტარულ ტექნიკაში  $A_3B_5$  ტიპის ნახევარგამტარული მასალების მისაღებად. ეს უკანასკნელები თავის მხრივ გამოიყენებას ჰპოვებენ ტექნიკის ისეთ მნიშვნელოვან დარგებში, როგორცაა რადიოელექტრონიკა, მიკროელექტრონიკა, ლაზერული ტექნიკა, მზის ბატარეები და სხვა. ელემენტური დარიშხანი მაღალი ტექნოლოგიების განვითარებისათვის თავისი ფიზიკური თვისებებიდან გამომდინარე უფრო მნიშვნელოვანია, ვიდრე სილციუმი. ფართოა დარიშხანის ნაერთების გამოყენების არეალი - მინის და ბროლის წარმოება, ბოჭკოვანი ოპტიკა, ჰოლოგრაფია, ელექტროგრაფია, სოფლის მეურნეობა, ხის დამუშავების ტექნოლოგია, ვეტერინარია, ქიმიური მრეწველობა, ტყავის წარმოება და სხვა.

საქართველოში არსებული ცანის არსენოპირიტული მადანი უნიკალურია მასში დარიშხანის შემცველობის მიხედვით (30-44 %), ამასთანავე მასში ოქრო იმ რაოდენობითაა, რომ მისი სამრეწველო მასშტაბით გადამუშავება ოქროს ამოღების მიმართულებითაც ეკონომიურად გამართლებულია.

ზემოთ აღნიშნულმა გარემოებებმა განაპირობა საქართველოში დარიშხანის წარმოების განვითარება, რომელიც მე-20 საუკუნის ოცდაათიანი წლებიდან დაიწყო - ს/ს ცანის (ყოფილი ცანის სამთო-ქიმიური ქარხანა) ს/ს ურავი (ყოფილი რაჭის სამთო ქიმიური ქარხანა). მხოლოდ ამ ქარხნებში ხდებოდა უშუალოდ დარიშხანის მადნიდან ელემენტური დარიშხანისა და მისი ნაერთების მიღება ყოფილი საბჭოთა კავშირის მთელ ტერიტორიაზე. აღნიშნული პროდუქციით ყოფილ საბჭოთა კავშირს სწორედ ეს ქარხნები ამარაგებდნენ გასული საუკუნის ოთხმოცდაათიან წლებამდე. დარიშხანშემცველი საწარმოების გაჩერებამ და შემდეგ უყურადღებოდ მიტოვებამ ქვეყნის ეს რეგიონები ეკოლოგიური

კატასტროფის წინაშე დააყენა, რადგან, მადნის პირომეტალურგიული გადამუშავების დროს აქროლადი, ე.წ. თეთრი დარიშხანი -As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> მიიღებოდა, რომლის ატმოსფეროში გაფრქვევასაც ჰქონდა ადგილი აირებთან და მტვერთან ერთად.

ანთროპოგენული ზემოქმედების შედეგად მძიმე ეკოლოგიური პრობლემაა შექმნილი დარიშხანის წარმოების ნარჩენებით დაბინძურებული რაჭისა და სვანეთის რეგიონებში. ყოველგვარი მართვის გარეშე განთავსებულია ათეული ათასობით ტონა ტოქსიკური დარიშხანშემცველი ნარჩენი, რომელიც გარდა ადგილობრივი წარმოების ნარჩენებისა ყოფილი საბჭოთა კავშირის სხვა ტერიტორიებიდან ჩამოტანილი მეტალურგიული წარმოების დარიშხანის ნარჩენებსაც შეიცავს. დარიშხანი, რომელიც ბიოაკუმულაციის მაღალი უნარით გამოირჩევა, დიდ საფრთხეს უქმნის არა მარტო ბუნებრივ გარემოს არამედ ადამიანის ჯანმრთელობას და სიცოცხლეს.

მიუხედავად გატარებული ღონისძიებებისა დღემდე მწვავედ დგას ქვემო სვანეთისა და რაჭის ტერიტორიაზე უკონტროლოდ დაყრილი და მდინარეებში ჩარეცხილი დარიშხანის შემცველი ნარჩენების ტოქსიკური ზემოქმედების პრობლემის გადაწყვეტის საკითხები.

ამგვარად, ქვეყნის ეკონომიკის განვითარებისათვის და ზემოთ აღნიშნულ რეგიონებში ეკოლოგიური რისკების შემცირების მიზნით ცანის ოქროს შემცველი არსენოპირიტული მადნის და მისი სამრეწველო გადამუშავების ნარჩენებიდან დარიშხანის და ოქროს ამოდების არსებული ტექნოლოგიების დახვეწა და ახალი ენერგოდამზოგი და შედარებით ეკოლოგიურად უსაფრთხო ტექნოლოგიების შექმნა ძალზედ აქტუალური საკითხია.

**სამუშაოს მიზანი:** არსენოპირიტული მადნიდან და მისი სამრეწველო გადამუშავების ნარჩენებიდან ჰიდრომეტალურგიული მეთოდით ელემენტური დარიშხანისა და ოქროთი გამდიდრებული კონცენტრატის მიღების ენერგოდამზოგი დაშედარებით ეკოლოგიურად უსაფრთხო

ტექნოლოგიური ციკლის შემუშავებასათვის ძირითადი პროცესების ოპტიმალური პარამეტრების დადგენა.

**კვლევის ძირითადი ამოცანებია:**

- კვლევის ობიექტებად გამოყენებული დარიშხანშემცველი ნედლეულის შედგენილობის განსაზღვრა და კვლევის მიმართულების დადგენა;
- ნატრიუმის ჰიდროქსიდის ხსნარშიზოგიერთი დამჟანგველის (ჰაერის  $O_2$ ,  $H_2O_2$ , და  $O_3$ ) თანაობისას გამოტუტვის პროცესის და გამოტუტვის შედეგად მიღებული ხსნარებიდან ელემენტური დარიშხანის ელექტროკრისტალიზაციის პროცესის ოპტიმალური პარამეტრების დადგენა;
- მიღებული პროდუქტების (ელემენტური დარიშხანი, რკინის ჰიდროქსიდი, ოქროშემცველი კონცენტრატი) ხარისხიანობის შემოწმება;
- დარიშხანშემცველი ნედლეულის გადამუშავების ტექნოლოგიური სქემის შემუშავება და მისი ეფექტურობის დადგენა.

**კვლევის ობიექტი და მეთოდები:** კვლევა ჩატარებული იქნა საქართველოში არსებული ცანის არსენოპირიტული მადანის და მისი სამრეწველო გადამუშავების ნარჩენების გამოყენებით.

კვლევის პროცესში ნედლეულის, მიღებული შუალედური და საბოლოო პროდუქტების შედგენილობის დასადგენად გამოყენებული იქნა ქიმიური ანალიზის - იოდომეტრიული და ინსტრუმენტული - pH-მეტრული, ატომურ-აბსორბციული, ფოტოკოლორიმეტრული, მიკროსკოპიული, რენტგენოსპექტრული, -სტრუქტურული და - ფლუორესცენციული მეთოდები.

არსენოპირიტული მადანის სამრეწველო გადამუშავების ნარჩენებში დარიშხან (V) ნაერთების არსებობის დასადგენად ჩატარებული იქნა მადანის ჟანგვითი გამოწვის პროცესში მიმდინარე შესაძლო რეაქციების თერმოდინამიკური გათვლები.

კვლევის ობიექტებიდან დარიშხანის გამოსატუტად გამოყენებული იქნა ჰიდროქიმიური დაჟანგვის მეთოდი, პროცესში მიმდინარე რეაქციების დასაზუსტებლად ჩატარებული იქნა თერმოდინამიკური გათვლები.

ექსპერიმენტები ტარდებოდა ორგანული მინისგან დამზადებულ ერთი ლიტრი მოცულობის მქონე, გამათბობლით და სარევით აღჭურვილ ცილინდრულ რეაქტორში. სუსპენზიის არევა ხდებოდა თვითრეგულირებადი Biosan MM-1000 ტიპის მექანიკური სარევით. რეაქტორი ივსებოდა გამომტუტი რეაგენტის- ნატრიუმის ჰიდროქსიდის ხსნარით, მასში თავსდებოდა დარიშხანშემცველი ნედლეული, შემდეგ ძლიერი არევის პირობებში სუსპენზიას სიღრმეში მიეწოდებოდა, დამჟანგველები, რის შედეგადაც რეაქტორში მდულარე შრის მსგავსი ნაკადი წარმოიქმნებოდა. გამოტუტვის პროცესში ხდებოდა pH კონტროლირება. გარკვეული დროის შემდეგ, მორევის შეწყვეტის, სუსპენზიის დაწდობისა და ხსნარების გაფილტვრით მიიღებოდა ხსნარები, რომლიდანაც ელემენტური დარიშხანის ამოღებას ვახდენდით ელექტროკრისტალიზაციის მეთოდით.

ელექტროლიზს ვატარებდით კათიონიტური მემბრანა MK-40 გაყოფილ ორგანული მინისგან დამზადებულ ელექტროლიზერში. კათოლიტად გამოყენებული იყო ცანის არსენოპირიტული მადნის ნატრიუმის ჰიდროქსიდში გამოტუტვის შედეგად მიღებული ხსნარები, ხოლო ანოლიტად ნატრიუმის ჰიდროქსიდის 2მოლ/ლ ხსნარი. ანოდად გამოყენებული გვექონდა ტიტანის ბადისებური ელექტროდი მოდიფიცირებული რუთენიუმის ოქსიდით ე.წ. ORTA ელექტროდი. ელექტროლიზის პროცესში ელექტროლიტში დაგროვილი წვრილდისპერსული ელემენტური დარიშხანის გამოტანას ვახდენდით პერიოდულად, კათოლიტის გაფილტვრით.

შესწავლილი იქნა:

- გამოტუტვის პროცესში დარიშხანის ნედლეულიდან ხსნარში გადასვლის ხარისხზე ტემპერატურის, სუსპენზიის არევის სიჩქარის,

ნატრიუმის ჰიდროქსიდის კონცენტრაციის, სუსპენზიაში მყარისა და თხევადის თანაფარდობის, პროცესის ხანგრძლივობის გავლენა;

- ელექტროკრისტალიზაციის პროცესში ელემენტური დარიშხანის კათოდზე გამოლექვის შესაძლებლობის დასადგენად ელექტროლიზის პირობების-საკათოდე მასალის, დენის სიმკვრივის, ტემპერატურის, დარიშხანის კონცენტრაციის, ნატრიუმის ჰიდროქსიდის კონცენტრაციისა და პროცესის ხანგრძლივობის გავლენა ელემენტური დარიშხანის დენით გამოსავალზე.

**მეცნიერულისიახლე:**ციანისარსენოპირიტული მადნების გადასამუშავებლად გამოტუტვის პროცესში პირველად იქნა კომბინირებულად გამოყენებული დამჟანგველები  $H_2O_2$  და  $O_3$  და დადგენილი იქნა, რომ ატმოსფერული წნევისა და დაბალი ტემპერატურის პირობებში ნატრიუმის ჰიდროქსიდის ხსნარში დარიშხანი გადადის  $As(III)$  და  $As(V)$  ხსნადი მარილების სახით, სულფიდური გოგირდი იჟანგება  $SO_4^{2-}$  იონამდე, ხოლო რკინა გამოილექება რკინა ( III) ჰიდროქსიდის სახით.

დადგენილია, რომ დარიშხანშემცველი ნედლეულის ტუტე დამუშავებით ზემოთ აღნიშნული დამჟანგველების თანაობისას:

- შესაძლებელია ოქროს შემცველი ისეთი კონცენტრატის მიღება, რომელიც ადვილად ექვემდებარება ციანირების პროცესს;
- გამოტუტვის შემდეგ მიღებული  $As(III)$  და  $As(V)$  ხსნადი მარილების ტუტე ხსნარებიდან ელემენტური დარიშხანის მიღებისას ელექტროენერჯის ხვედრითი ხარჯი 5- 6 კვტ/კგ ფარგლებშია.

**სამუშაოს პრაქტიკული მნიშვნელობა:**ჩატარებული კვლევების საფუძველზე შეიძლება შემუშავდეს დარიშხანშემცველი ნედლეულის გადამამუშავების ტექნოლოგია, რომელიც პრაქტიკაში არსებულ ანალოგებთან შედარებით იქნება ენერგოდამოზოგი, აპარატურული გაფორმებით მარტივი, იაფი და შედარებით ეკოლოგიურად უსაფრთხო. ტექნოლოგია უზრუნველყოფს საწყისი ნედლეულიდან

ფასეული კომპონენტების კომპლექსურ ამოღებას და ნარჩენების უტილიზაციის შესაძლებლობას.

აღნიშნული ტექნოლოგიით ცანის არსენოპირიტული მადნის და მისი სამრეწველო ნარჩენების გადამუშავების შემთხვევაში გარდა იმისა, რომ ამოღებული იქნება მაღალი ტექნოლოგიებისა და ზოგადად სახალხო მეურნეობისათვის ძალზედ მნიშვნელოვანი პროდუქტი- ელემენტური დარიშხანი და მიღებული იქნება ოქროს კონცენტრატი, რომელიც გარკვეულ მოცულობას დაიკავებს საქართველოს ოქროს შემცველი ნედლეულის მარაგებში, ასევე მოხდება რეგიონის ეკოლოგიურისიტუაციის საგრძნობი გაუმჯობესება.

**პუბლიკაციები:** სამუშაოს ძირითადი შედეგები წარდგენილ იქნა ორ საერთაშორისო და ერთ სტუდენტურ კონფერენციაზე, გამოქვეყნებულია სამი სამეცნიერო სტატია.

**აპრობაცია:** სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი დებულებები განხილული იქნა:საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე - „თანამედროვე კვლევები და მათი გამოყენების პერსპექტივები ქიმიაში, ქიმიურ ტექნოლოგიასა და მომიჯნავე დარგებში“ საქართველო, ურეკი, 2016 წლის 21-23 სექტემბერი; „ინოვაციური ტექნოლოგიები მეტალურგიასა და მასალათმცოდნეობაში თბილისი 2015 წლის 16-18 ივლისი და სტუდენტთა 84-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე, მეტალურგიის, მასალათმცოდნეობისა და ლითონების დამუშავების სექციაში, 2016.

სადოქტორო ნაშრომის მასალები წარმოდგენილი იყო ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის მეტალურგიული, მასალათმცოდნეობისა და ლითონთა დამუშავების სასწავლო პროგრამის მიმართულების თემატურ სემინარზე.

**სამუშაოს მოცულობა და სტრუქტურა:**დისერტაცია მოიცავს 106 გვერდს, 11ცხრილს, 23სურათს.დისერტაცია შედგება შესავლისაგან,



ლიტერატურული მიმოხილვისაგან, ექსპერიმენტული ნაწილისაგან, დასკვნისა და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისაგან.

## 1. შედეგები და მათი განსჯა

დარიშხანშემცველი ნედლეულის გადამუშავების დროს უმეტეს შემთხვევაში ყურადღება ექცევა ოქროს და სხვა ლითონების კომპლექსურ ამოღებას და არა დარიშხანის როგორც სასაქონლო პროდუქტის მიღებას. თუმცა, ნედლეულის გადამუშავება ეკონომიკურად უფრო მომგებიანი იქნება თუ ნედლეულიდან ელემენტური დარიშხანის და მისი ნაერთების გარდა კომპლექსურად სხვა ფასეული კომპონენტების ამოღებაც მოხდებდა.

კუბლიკაციები დარიშხანის მადნებისა და მათი სამრეწველო გადამუშავების ნარჩენების კომპლექსური გადამუშავების შესახებ სადაც სხვა სასარგებლო პროდუქტებთან ერთად ელემენტური დარიშხანის მიღებაც ხდება იშვიათია. ძირითადად შესწავლილია დარიშხანის ამოღება ფერადი ლითონების საწარმოების ჩამდინარე წყლებიდან, ფერადი ლითონების რაფინირებისას გამოყენებული ელექტროლიტებიდან და სხვა.

დარიშხანის და ოქროს შემცველი სულფიდური კონცენტრატები და სამრეწველო გადამუშავების ნარჩენები ამჟამად ძირითადად პირომეტალურგიული მეთოდით გადამუშავდებიან, რომლის დროსაც მტვრისა და აირადი გოგირდის დიოქსიდის წარმოქმნა ხდება. გამონაბოლქვი აირების გაწმენდა რთულია, ძვირია და ზოგიერთ შემთხვევაში არასაკმარისად ეფექტურიც. გოგირდის დიოქსიდი საწარმოდან ათასობით კილომეტრზე ვრცელდება და გლობალურ მავნეზეგავლენას ახდენს გარემოზე. შედარებით ნაკლები ეკოლოგიური რისკების მატარებელია ჰიდრომეტალურგიული მეთოდი, რომლითაც ხდება თანდათან პირომეტალურგიული მეთოდების ჩანაცვლება.

დღეს მსოფლიოში დარიშხანით მდიდარი ოქროსშემცველი არსენოპირიტული მადნების ჰიდრომეტალურგიული მეთოდებით

გადამუშავება, მათგან ძირითადი კომპონენტების კომპლექსური ამოღების მიზნით, ორ ჯგუფად შეიძლება დაიყოს:

- დარიშხანის წინასწარი გამოყოფა და ოქროს შემცველი პროდუქტის შემდგომი მეტალურგიული გადამამუშავება;
- ოქროს პირდაპირ ამოღება მდგრადი ნედლეულიდან.

მადნიდან დარიშხანის წინასწარი გამოყოფა შესაძლებელია ქიმიური, ბაქტერიული და ავტოკლავური დაჟანგვის მეთოდებით.

ქიმიური ჟანგვის პროცესები მიმდინარეობს ატმოსფერული წნევისა და 80-100°C ტემპერატურის პირობებში, დამჟანგველებად აგრესიული რეაგენტების - აირადი ქლორისა და აზოტმჟავას გამოყენებით. ტექნოლოგიური პროცესის განხორციელება მოითხოვს სპეციალური კონსტრუქციის ძვირად ღირებულ აპარატურას.

ბაქტერიული დაჟანგვის მეთოდიშედარებით ეკოლოგიურად უსაფრთხო 25-35°C ტემპერატურაზე მჟავა (pH=2-4) გარემოში ხანგრძლივად (60-120 სთ) მიმდინარე პროცესია. მეთოდის ნაკლია პროცესის ხანგრძლიობა და ტემპერატურულ რეჟიმში შეზღუდვა. მაღალ ტემპერატურაზე ბაქტერიების დაღუპვა ხდება, რაც პროცესს მიზნობრივს აღარ ხდის, ამასთანავე დარიშხანის მაღალი შემცველობისას ეს მეთოდი არ არის რეკომენდირებული, რადგან დარიშხანი ბაქტერიების კვდომას უწყობს ხელს.

ავტოკლავური გამოტუტვა არის ქიმიური პროცესი, რომელიც მიმდინარეობს ავტოკლავში მაღალი წნევისა და ტემპერატურის პირობებში. ამ დროს ოქროს გახსნა და სულფიდების დაშლა ერთდროულად მიმდინარეობს. მადნის ავტოკლავური გამოტუტვა საწარმოო პრაქტიკაში განხორციელებულია როგორც მჟავა ისე ტუტე გარემოში. ავტოკლავში 120-200°C ტემპერატურა და 0,2-1,0 მპა წნევა ვითარდება, ხდება სულფიდების სრული დაშლა და სასურველი პროდუქტის მათგან განთავისუფლება. მეთოდის ნაკლია მომსახურების სირთულე და დამჟანგავი გარემოსთვის აპარატურის შერჩევის პრობლემურობა.

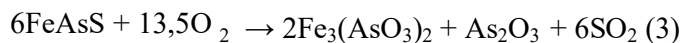
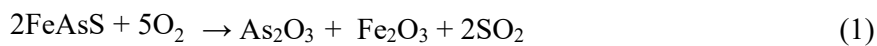
ლიტერატურის ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ოქროშემცველი სულფიდური მადნების გადამუშავების ტექნოლოგიები საჭიროებს დახვეწას, როგორც ტექნოლოგიური პროცესების მიმართულებით ისე აპარატურული გაფორმებით.

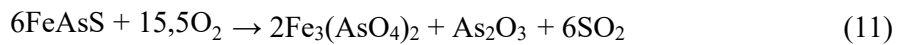
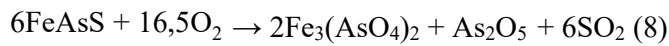
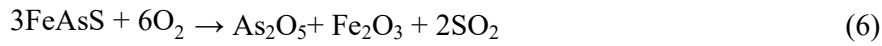
ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია დარიშხან- და ოქროშემცველი ნედლეულიდან ფასეული კომპონენტების ამოღების მიზნით ჰიდრომეტალურგიული მეთოდი, რომელიც მოიცავს ნედლეულის ატმოსფერული წნევისა და დაბალი ტემპერატურის (60-65°C) პირობებში ტუტე გარემოში ჰიდროქიმიურ დაჟანგვას და მიღებული ხსნარების ელექტროლიზს.

კვლევის ობიექტში, ცანის არსენოპირიტული მადნის(ძირითადი შედგენილობა,%: As-44,12; Fe-34,73; S-19,49; Ag -40-50გ/ტ; Au- 4-5 გ/ტ) ძირითადი მინერალებია FeAsS და FeS<sub>2</sub>, რომელშიც ოქრო წვრილადაა ჩაწინწკლული.

რენტგენოგრაფიული ანალიზით დადგინდა, რომ კვლევის ობიექტად შერჩეულ ცანის არსენოპირიტული მადნის სამრეწველო გადამუშავების ნარჩენებში (ძირითადი შედგენილობა, %: As-5,32; Fe-45,00; S-3,51; Ag - 40გ/ტ; Au- 10გ/ტ) დარიშხანი ძირითადად წარმოდგენილია ხუთვალენტიანი (As<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, FeAsO<sub>4</sub>) სახით. საკვლევ ნიმუშებში მცირე მნიშვნელობით არის წარმოდგენილი - PbO, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sb<sub>3</sub>O<sub>5</sub>, Zn<sub>3</sub>As<sub>2</sub>, Zn<sub>2</sub>As<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, შეინიშნება აგრეთვე ბისმუტის, ვოლფრამის, ვანადიუმის, გალიუმის ნაერთების არსებობა.

საწარმოო ნარჩენებში As<sub>2</sub>O<sub>5</sub> და FeAsO<sub>4</sub> კონცენტრირების შესაძლებლობის დასაბუთებისათვის ჩატარებული იქნა მადნის ჟანგვითი გამოწვის პროცესში მიმდინარე ქვემოთ მოყვანილი რეაქციების თერმოდინამიკური ანალიზი (ცხრილი 1):





ცხრილი 1. 1-11 რეაქციის ენტროპიები და იზობარულ-იზოთერმული მნიშვნელობები

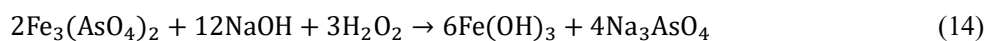
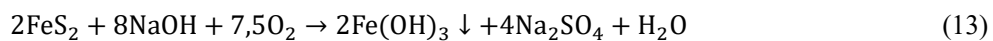
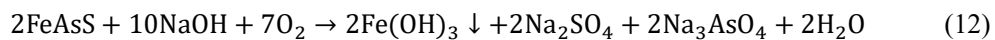
რეაქცია	$-\Delta H_{800}$ , კჯ/მოლი	$-\Delta H_{1000}$ , კჯ/მოლი	$-\Delta H_{1200}$ , კჯ/მოლი	$-\Delta G_{800}$ , კჯ/მოლი	$-\Delta G_{1000}$ , კჯ/მოლი	$-\Delta G_{1200}$ , კჯ/მოლი
1	1124,65	1107,92	1092,86	1042,23	1020,47	1007,08
2	597,47	599,56	602,91	381,58	327,18	273,63
3	851,86	852,69	852,69	687,012	646,009	605,84
4	26,35	39,74	55,64	12,55	4,811	3,347
5	59,519	22,80	34,51	45,56	23,43	31,79
6	1119,63	1108,76	1095,37	825,08	753,05	682,82
7	1158,54	1173,61	1173,62	1173,61	815,88	1445,99
8	1116,7	1138,46	1157,71	348,02	155,64	44,76
9	83,26	104,6	136,81	34,72	19,66	1.213
10	186,60	212,96	14,36	108,78	85,77	58,57
11	1022,56	1030,51	1020,89	814,62	760,23	708,35

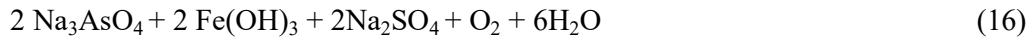
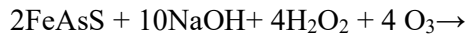
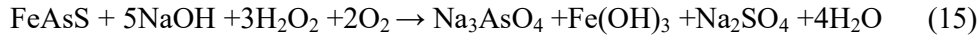
თერმოდინამიკური გათვლების შედეგად დარიშხანის არსენოპირიტული მადნის გამოწვის პროცესში, მყარ პროდუქტში, დარიშხანის სამვალენტიანი ოქსიდის მიღებასთან ერთად დადგინდა ორვალენტიანი და სამვალენტიანი რკინის არსენიტების წარმოქმნა, ასევე დადგინდა ხუთვალენტიანი დარიშხანის ოქსიდის და მის საფუძველზე ორვალენტიანი და სამვალენტიანი რკინის არსენატებისა წარმოქმნა.

ამგვარად, ცანის არსენოპირიტული მადნის სამრეწველო გადამამუშავების ნარჩენებში As(V)ნაერთების შემცველობა მიუთითებს, რომ რეგიონში წლების განმავლობაში სამთო გადამამუშავებელ ქარხანაში გამოწვითი დაჟანგვის პროცესის აპარატურული გაფორმება და ტექნოლოგიური რეჟიმი მიწოდებული ჟანგბადის მიხედვით ვერ უზრუნველყოფდა დარიშხანის სამვალენტიანი ოქსიდის სახით სრულად გადასვლას აირობრივ ფაზაში და მისი ნაწილი ნამწვში რჩებოდა ნაკლებ აქროლადი ხუთვალენტიანი ოქსიდისა და ან მისი რკინასთან ნაერთის სახით. ასეთი ნამწვი ქარხნის ტერიტორიაზე და მის შემოგარენში ათეული ათასობით ტონაა დასაწყობებული. მათი წვიმებით ჩარეცხვა დღემდე დიდ ეკოლოგიურ პრობლემად რჩება რეგიონისთვის.

### 1.1. ცანის არსენოპირიტული მადნისა და მისი სამრეწველო ნარჩენების ტუტე გარემოში ჰიდროქსიდური დაჟანგვის პროცესების შესწავლა

ატმოსფერული წნევისა და დაბალი ტემპერატურის პირობებში ნატრიუმის ჰიდროქსიდის ხსნარში დამჟანგველების (O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, და O<sub>3</sub>) თანაობისას დარიშხან- და ოქროშემცველი ნედლეულის გამოტუტვის პროცესში თერმოდინამიკური გათვლების (ცხრილი 2) თანახმად შეუქცევადად მიმდინარე რეაქციებია:





ცხრილი 2. ცანის არსენოპირიტული მადნისა და მისი სამრეწველო ნარჩენების ჰიდრომეტალურგიული გადამუშავებისას მიმდინარე რეაქციების თერმოდინამიკური ფუნქციების მნიშვნელობები.

რეაქცია	$\Delta G^0$ კჯ/მოლი	$\Delta H^0$ კჯ/მოლი	$\Delta S^0$ კჯ/მოლი.К
12	-2836,33	-3312,89	-1599,2
13	-2903,77	-3321,25	-1400,8
14	-1354,85	-1259,84	-318,82
15	-3538,80	-37913,60	-298,23
16	-3990.69	-43146.24	-1087,00

ნედლეულის გამოტუტვის პროცესის მაღალი ეფექტურობის მისაღწევად ძალზედ მნიშვნელოვანია დამჟანგველების სწორად შერჩევა.

არსენოპირიტის ჰიდრომეტალურგიული გადამუშავებისას გამოყენებული ძლიერი დამჟანგველები - წყალბადის ზეჟანგი და ოზონი გამოტუტვის პროცესის დროს ისეთ უსაფრთხო ნივთიერებებად იშლებიან როგორცაა წყალი და ჟანგბადი, რაც ეკოლოგიური თვალსაზრისით ძალზედ მნიშვნელოვანია. ოზონი დიდი ხნის განმავლობაში მისი მაღალი კონცენტრაციისა და სიძვირის გამო სამრეწველო მასშტაბებით არ გამოიყენებოდა, თუმცა ახალი ტიპის ენერგოდამზოვი ოზონატორების შექმნამ მეტალურგიაში მისი გამოყენების რენტაბელობა გაზარდა. ოზონის გარდა გამოტუტვის პროცესში სხვა დამჟანგველის გამოყენება ოზონის ხარჯს და პროცესის ხანგრძლივობას მნიშვნელოვნად ამცირებს.

არსენოპირიტის ჟანგვის შემთხვევაში ოზონი და წყალბადის ზეჟანგი წყალხსნარებში ისეთ აქტიურ დამჟანგველებს წარმოქმნიან როგორებიც არის  $\text{OH}\cdot$ ,  $\text{HO}_2\cdot$  და  $\text{O}_3\cdot$  რადიკალები. ტემპერატურის აწევა ამ პროცესებს უფრო აჩქარებს. ოზონისა და წყალბადის ზეჟანგის ერთდროული

გამოყენება სარეაქციო არის ჟანგით უნარს ამაღლებს, რადგან იცვლება დამჟანგველების შედგენილობა და ჟანგვის პროცესის მექანიზმი.

ცნობილია, რომ ტუტე ხსნარებში  $\text{OH}^-$  იონები კატალიზურ გავლენას ახდენენ ოზონის თვითდაშლის პროცესზე, რომლის დროსაც უფრო ძლიერი ჟანგვის უნარის მქონე  $\text{OH}^\cdot$  რადიკალების გენერაცია ხდება შემდეგი რეაქციების მიხედვით:  $\text{O}_3 + \text{OH}^- = \text{O}_3^- + \text{OH}^\cdot$  წარმოქმნილი ოზონიდ იონები ასევე იშლება  $\text{OH}^\cdot$  რადიკალების გენერირებით:  $\text{O}_3^- + \text{H}_2\text{O} = \text{O}_2 + \text{OH}^- + \text{OH}^\cdot$  ამ რეაქციებით მიღებულ  $\text{OH}^\cdot$  რადიკალებს შეუძლიათ მონაწილეობა მიიღონ ჟანგვით პროცესებში.

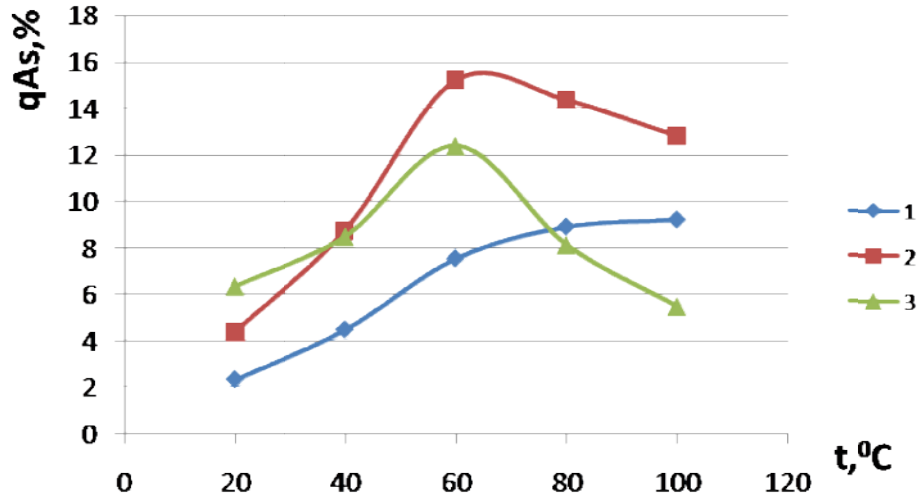
წყალბადის ზეჟანგიდამოუკიდებლად უფრო სუსტი დამჟანგველია, ტუტე ხსნარებში მისი პოტენციალი  $E^\circ_{(\text{H}_2\text{O}_2/\text{OH}^-)} = 0,88\text{V}$  უტოლდება. გამოტუტვის პროცესში ოზონთან ერთად მონაწილეობისას მისი ჟანგვითი უნარი საგრძნობლად მატულობს.

დარიშხანი, არსენოპირიტული მადნისა და მისი სამრეწველო გადამუშავების ნარჩენების ნატრიუმის ჰიდროქსიდით გამოტუტვის შედეგად, დამჟანგველების დამატებისას, ხსნარში ნატრიუმის არსენატებისა და არსენიტების სახით გადადის.

დარიშხანის გამოტუტვის ხარისხი დამოკიდებულია: ხსნარის ტემპერატურაზე, სუსპენზიის არევის სიჩქარეზე, ხსნარისა და მყარის თანაფარდობაზე, ხსნარში ნატრიუმის ჰიდროქსიდისა და დამჟანგველების კონცენტრაციაზე.

ტემპერატურის გაზრდა გარკვეულ (20-65 °C) ზღვრებში დარიშხანის გამოტუტვის ხარისხის ზრდას ხელს უწყობს, შემდეგ კი მნიშვნელოვნად მცირდება (ნახ.1), რისი მიზეზიც შეიძლება იყოს წყალბადის ზეჟანგის დაშლა და ხსნარში ოზონის კონცენტრაციის შემცირება.

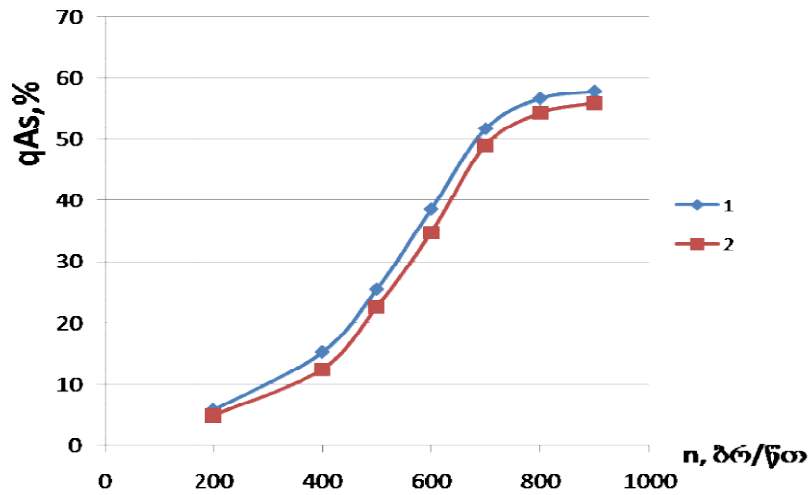
დარიშხანის გამოტუტვის ხარისხი დამოკიდებულია სუსპენზიის არევის სიჩქარეზე (ნახ.2). როგორც ნახაზიდან ჩანს ოპტიმალურად შეიძლება ჩაითვალოს 750-800 ბრ/წთ.



ნახ.1. არსენოპირიტის მადნიდან დარიშხანის გამოტუტვის ხარისხის დამოკიდებულება ხსნარის ტემპერატურაზე.

$C_{\text{NaOH}}=2$  მოლ/ლ,  $t=3$  სთ,  $n=400$  ბრ/წთ

1- ჰაერის  $\text{O}_2$ ; 2-  $\text{H}_2\text{O}_2$  დამატებისას; 3-  $\text{O}_3$  შებერვით.



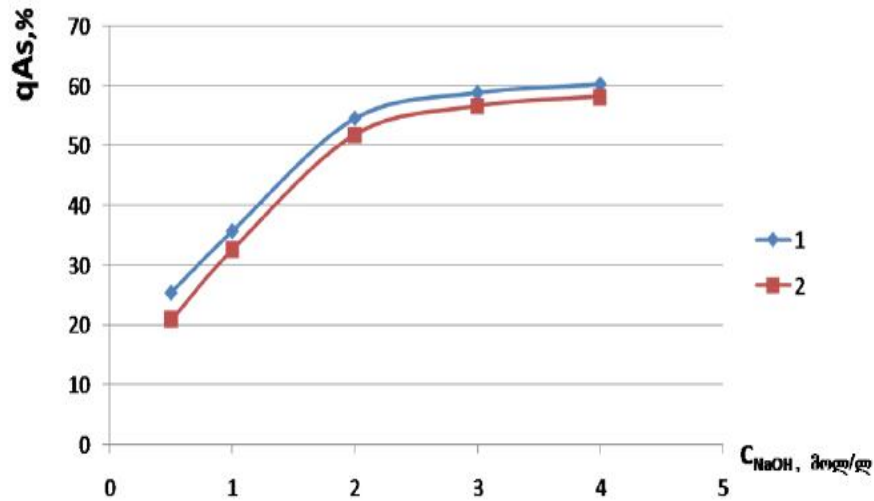
სურ.2. არსენოპირიტის მადნიდან დარიშხანის გამოტუტვის ხარისხის დამოკიდებულება სარევის ბრუნთა რიცხვზე

$C_{\text{NaOH}}=2$  მოლ/ლ;  $\tau=3$  სთ;  $t=60-65$  °C;

1- $\text{H}_2\text{O}_2$ ; 2- $\text{O}_3$



სარეაქციო არეში ნატრიუმის ჰიდროქსიდის კონცენტრაციის გაზრდისას 0,5 მოლ/ლ - დან 3-4 მოლ/ლ-მდე დარიშხანის გამოტუტვის ხარისხი 20-60 % ზღვრებში იცვლება, კონცენტრაციის შემდგომი ზრდა დარიშხანის ამოღების ხარისხზე ნაკლებად მოქმედებს(ნახ.3).



ნახ.3. არსენოპირიტის მადნიდან დარიშხანის გამოტუტვის ხარისხის დამოკიდებულება ხსნარში NaOH კონცენტრაციაზე, მოლ/ლ.  
 $m_{\text{ც}}/m_{\text{თხ}}=1/30$ ,  $t = 60-65 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $\tau - 3$  სთ.;  $n=750$  ბრ/წთ.

სუსპენზიაში მყარისა და თხევადის თანაფარდობის შემცირებით დარიშხანის ამოღების ხარისხი იზრდება, ოპტიმალურად შეიძლება ჩაითვალოს  $m_{\text{ც}}/m_{\text{თხ}}$  თანაფარდობა 1:6- დან 1:10-მდე (ცხრილი3).

გამოტუტვის პროცესის ინტენსიფიკაციისათვის ძალზედ მნიშვნელოვანია სარეაქციო ზონაში ოზონისა და წყალბადის ზეჟანგის თანაფარდობა და შერევის რეჟიმი. დარიშხანის გამოტუტვის მაქსიმალური ეფექტი ( $\geq 97\%$ ) მიიღწევა დამჟანგველების უწყვეტ რეჟიმში დამატებისას თანაფარდობი -  $\text{FeAsS} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{O}_3 = 1:3:3$  (ნახ.4).

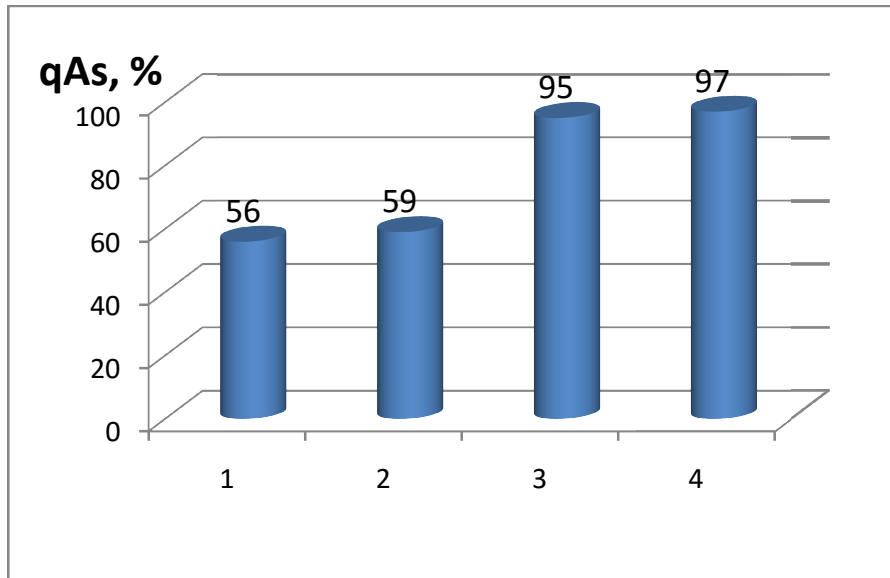
არსენოპირიტის გამოტუტვის ხარისხზე განსაკუთრებულ გავლენას ახდენს პროცესის ხანგრძლივობა, როგორც დამჟანგველის თანაობისას, ასევე დამჟანგველის გარეშე. დამჟანგველად მხოლოდ წყალბადის ზეჟანგის გამოყენებისას დარიშხანის ამოღების ხარისხი ყველაზე მაღალ

მნიშვნელობას (97,5%) 12-საათის შემდეგ აღწევს, მაშინ როდესაც ოზონის და წყალბადის ზეჟანგის ერთდროულად დამატებისას გამოტუტვის იგივე ხარისხი სამი საათის განმავლობაში მიიღწევა ( ნახ. 4,5).

ცხრილი 3. მყარი:თხევადი თანაფარდობის გავლენა დარიშხანის ამოღების ხარისხზე ხსნარში H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> და O<sub>3</sub> დამატებისას

№	მყ:თხ	მიღებული ხსნარის კონცენტრაცია, As, გ/ლ	რეაქტორში შეტანილი	მყარი ნარჩენი, გ		As ამოღების ხარისხი,
			As რაოდენობა, გ	Fe(OH) <sub>2</sub> , გ	შლამი, გ	
1	1:3	81,03	44	38,29	30,00	55,20
2	1:6	71,20	22,00	32,50	10,20	97,10
3	1:10	42,84	13,21	19,47	6,30	97,50
4	1:20	22,02	6,61	9,73	3,30	98,10
5	1:30	14,68	4,4	6,13	1,85	97,40

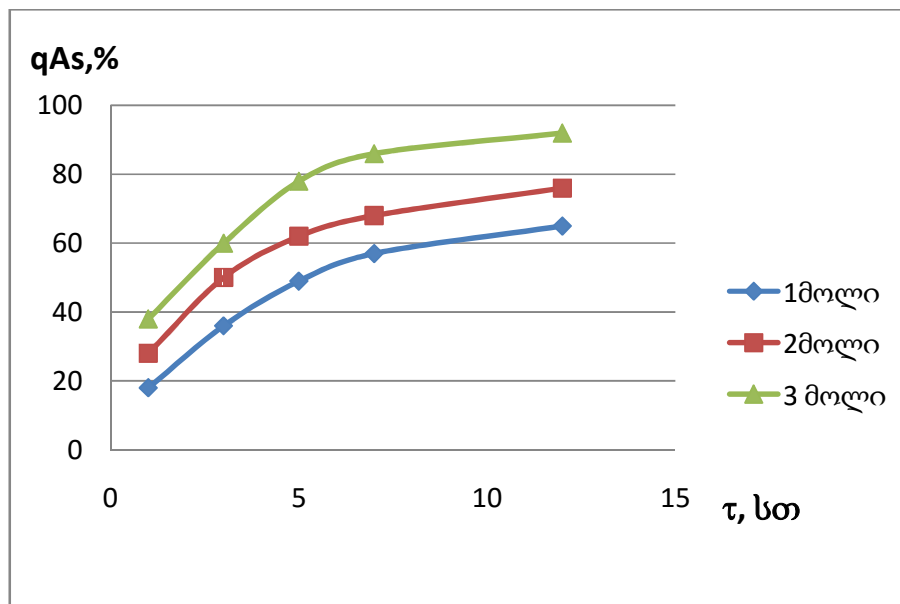
ამგვარად, შესწავლილი იქნა ცანის არსენოპირიტული მადნის და მისი სამრეწველო გადამუშავების ნარჩენების ნატრიუმის ჰიდროქსიდის ხსნარში გამოტუტვის პროცესი დამუშავებულების დამატებისას, დაგნილი იქნა პროცესის ოპტიმალური პირობები: C<sub>NaOH</sub>–3-4 მოლ/ლ; FeAsS: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:O<sub>3</sub>= 1:3:3; მყ:თხ = 1:6 - 1:10; t – 60-65 °C; τ-3-5 სთ; n=750-800 ბრ/წთ გამოტუტვის შედეგად ნედლეულიდან დარიშხანი ხსნარში გადადის ნატრიუმის არსენატებისა და არსენიტების სახით, რკინა გამოიყოფა რკინა (III) ჰიდროჟანგის სახით, სულფიდური გოგირდი იჟანგება SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> იონამდე.



ნახ. 4. არსენოპირიტის მადნიდან დარიშხანის გამოტუტვის ხარისხის ცვლილება დამუანგველებისა და მათი თანაფარდობის ცვლილების მიხედვით

$C_{NaOH}$ —3 მოლ/ლ;  $t$  — 60-65 °C;  $\tau$ —3 სთ,  $n$ —750ბრ/წთ

1. FeAsS: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>= 1:2;      3. FeAsS: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:O<sub>3</sub> = 1:2:2;
2. FeAsS: O<sub>3</sub>= 1:2;        4. FeAsS: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:O<sub>3</sub> = 1:3:3



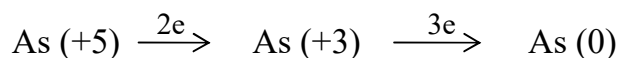
სურ.5. არსენოპირიტის მადნიდან დარიშხანის გამოტუტვის ხარისხის დამოკიდებულება პროცესის ხანგრძლივობაზე. დამუანგველი- H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>;  $t$  — 60-65 °C;  $n$ —750 ბრ/წთ.

გამოტუტვის შედეგად მიღებული შლამი წარმოადგენს კეთილშობილი ლითონებით გამდიდრებულ კონცენტრატს: წარმოების ნარჩენებიდან შედგენილობით, %: Au – 80 გ/ტ; Ag – 150 გ/ტ; As – 0, 32; Fe >10; S – 0,69 ; არსენოპირიტული მადნიდან შედგენილობით (%): Fe-4,11; As -0,35; S-0,51; Ag – 85,02 გ/ტ; Au – 20,05 გ/ტ. მიღებული შლამები აღარ საჭიროებენ განეიტრალებას და პირდაპირ ექვემდებარებიან ციანირების პროცესს. გამოტუტვის პროცესში ხდება ნედლეულში ჩაწინწკლული, სუბმიკრონული ოქროს ნაწილაკების ზედაპირის გამოთავისუფლება მასზე დალეკილი მინერალების მკვრივი ფენისაგან, რაც განსაზღვრავს კონცენტრატის შემდგომი ციანირების პროცესის ეფექტურობას.

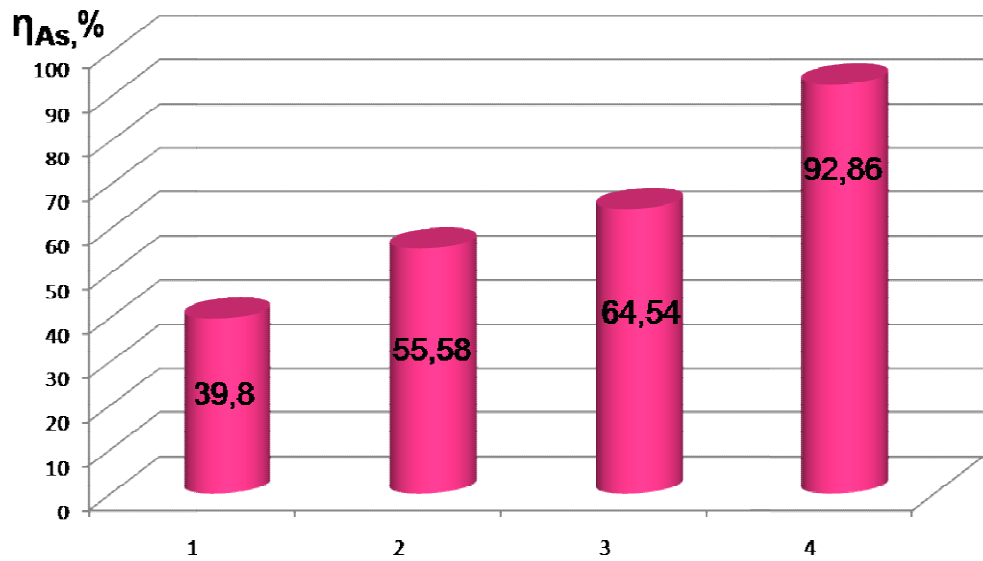
მიღებული შედეგებიდან გამომდინარე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ დარიშხანისა და ოქროს შემცველი ნედლეულის გამოტუტვა ნატრიუმის ჰიდროქსიდის ხსნარში დამჟანგველად წყალბადის ზეჟანგისა და ოზონის გამოყენების შემთხვევაში ნედლეულში არსებული ფასეული კომპონენტების კომპლექსური ამოღების საშუალებას იძლევა.

## 2. ელემენტური დარიშხანის ელექტროკრისტალიზაცია ცანის არსენოპირიტული მადნის ჟანგვითი გამოტუტვის შედეგად მიღებული ტუტე ხსნარებიდან

ცანის არსენოპირიტული მადნის ჟანგვითი გამოტუტვის შედეგად მიღებული ტუტე ხსნარები, როგორც ქიმიური ანალიზმა აჩვენა, შეიცავს ნატრიუმის არსენატისა ( $\text{Na}_3\text{AsO}_4$ ) და არსენიტის ( $\text{Na}_3\text{AsO}_3$ ) ნარევს. აღნიშნული ხსნარების ელექტროლიზის პროცესში ელემენტური დარიშხანის ელექტროკრისტალიზაცია შეიძლება გამოისახოს შემდეგი სქემის მიხედვით:



ტუტე ხსნარებში ელემენტური დარიშხანის ელექტროკრისტალიზაციისათვის გამოკვლეული იქნა სხვადასხვა საკათოდე მასალა, კერძოდ სპილენძის, ტყვიის, უჟანგავი ფოლადისა და ტიტანის ელექტროდები. ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ ელემენტური დარიშხანის ყველაზე მაღალი დენით გამოსავალი (92,86 %) მიღებული იქნა ვენტილური ლითონის ტიტანის კათოდად გამოყენების შემთხვევაში (ნახ.6).

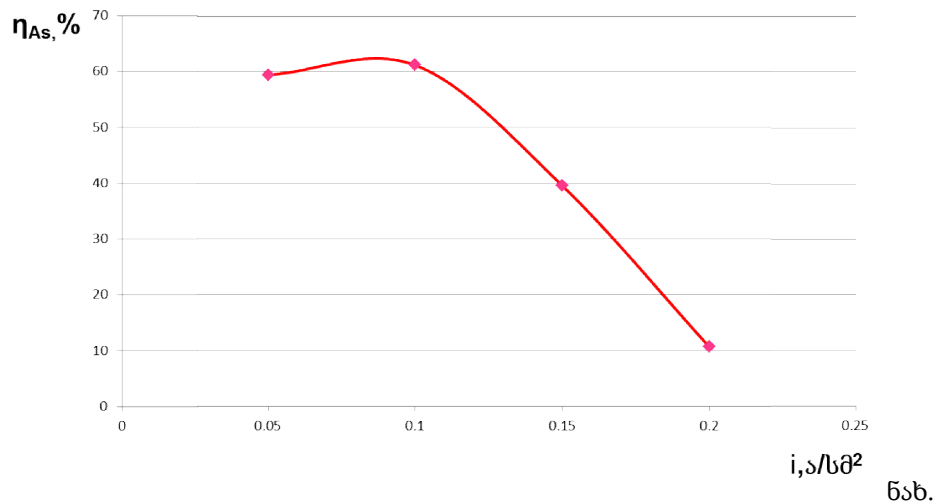


ნახ.6. ელემენტური დარიშხანის დენით გამოსავლის დამოკიდებულება საკათოდე მასალაზე

1 – Cu; 2 – Pb; 3 - უჟანგავი ფოლადი; 4 – Ti; ანოდი - ORTA;  $t$  - 65°C;  
 ელექტროლიტი:  $C_{Na_3AsO_3}$  - 71,20 გ/ლ; კათოლიტში  $C_{NaOH}$  - 400გ/ლ;  
 ანოლიტში-  $C_{NaOH}$  - 80 გ/ლ;  $i$  - 0.10 ა/სმ<sup>2</sup>;  $t$  - 3 სთ;  $I$  - 0,4 ა.

ლიტერატურაში არსებობს ურთიერთსაწინააღმდეგო მოსაზრებები დარიშხანის შემცველი ხსნარების ელექტროქიმიური აღდგენის პროცესში დენის სიმკვრივის გავლენასთან დაკავშირებით. გამოთქმულია მოსაზრება, რომ დენის სიმკვრივის ცვლილება გავლენას არ ახდენს ელემენტური დარიშხანის დენით გამოსავალზე. ჩვენს მიერ ჩატარებულმა კვლევებმა გვიჩვენა, რომ ელემენტური დარიშხანის დენით გამოსავალი

დამოკიდებულია დენის სიმკვრივეზე და მისი 0,05 ა/სმ<sup>2</sup>-დან 0,1 ა/სმ<sup>2</sup> -მდე გაზრდისას დენით გამოსავალი იზრდება 62,54 % -მდე, ხოლო დენის სიმკვრივის შემდგომი გაზრდისას დენით გამოსავლი მკვეთრად ეცემა. კერძოდ, 0,1ა/სმ<sup>2</sup> - დან 2ა/სმ<sup>2</sup> -მდე დენის სიმკვრივის გაზრდისას დენით გამოსავალი 62,54 - დან 10,13 %- მდე კლებულობს (ნახ.7).



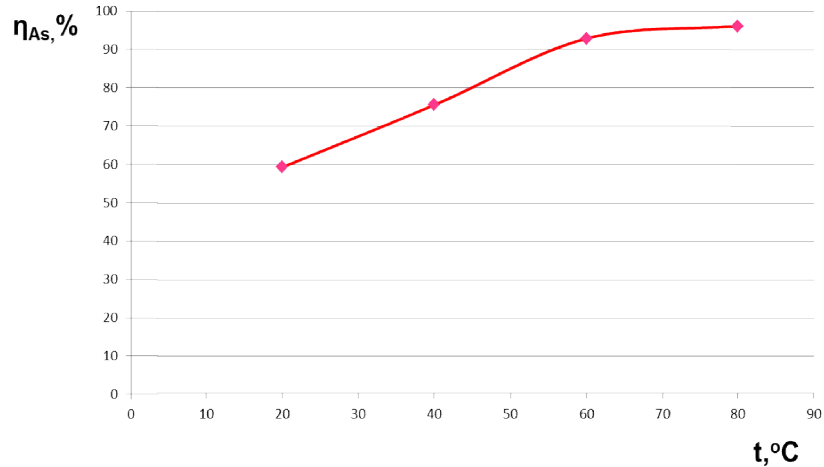
#### 7. ელემენტური დარიშხანის დენით გამოსავლის დამოკიდებულება დენის სიმკვრივეზე

კათოლიტი:  $C_{Na_3AsO_3} - 71,20$  გ/ლ;  $C_{NaOH} - 400$  გ/ლ;  
 ანოლიტი-  $C_{NaOH} - 120$  გ/ლ;  
 კათოდი-Ti; ანოდი -ORTA;  
 t - 65°C; I – 0,4 ა.

ელექტროკრისტალიზაციის პროცესზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ელექტროლიტის ტემპერატურა და მასში შემავალი დარიშხანისა და ნატრიუმის ჰიდროქსიდის კონცენტრაცია.

ტემპერატურის გაზრდა მკვეთრად ზრდის ელემენტური დარიშხანის დენით გამოსავალს. კერძოდ, მისი 20-დან60°C-მდე გაზრდისას დარიშხანის დენით გამოსავალი 60-დან 92%-მდე იზრდება, ხოლო ტემპერატურას 80°C - მდე გაზრდით ელემენტური დარიშხანის დენით გამოსავალი აღწევს 98%-

ს(ნახ.8), ტემპერატურის კიდევ უფრო გაზრდა ხელს უწყობს ელექტროლიტის აქროლებას.



ნახ.8 ელემენტური დარიშხანის დენით გამოსავლის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე

კათოლიტი: As- 71,20 გ/ლ, NaOH -400გ/ლ;

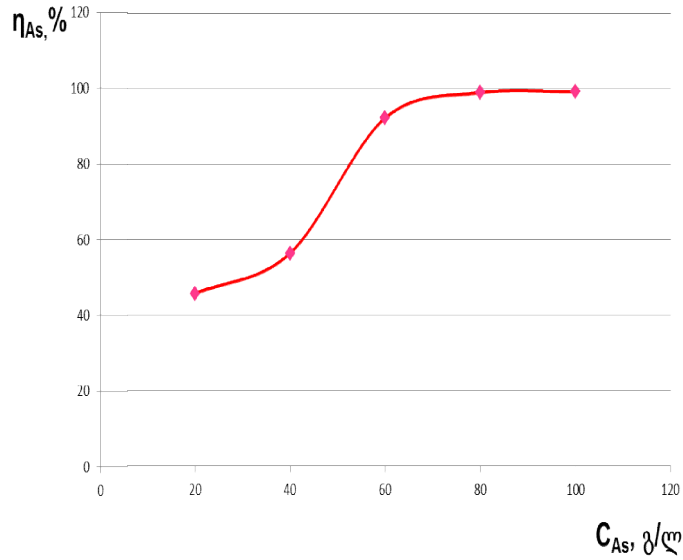
ანოლიტი: NaOH- 80 გ/ლ

კათოდი-Ti; ანოდი -ORTA; t- 80 °C;

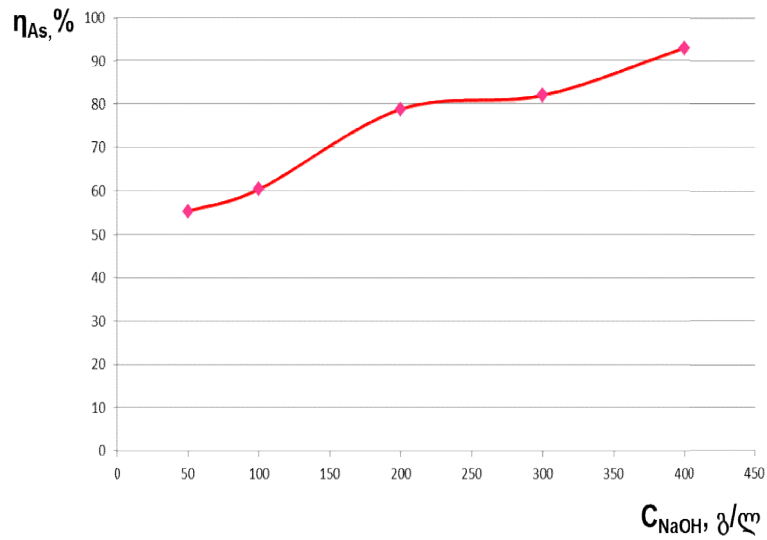
t – 3სთ; i- 0,1 ა/სმ<sup>2</sup>; I – 0,4 ა

ექსპერიმენტის შედეგებიდან ჩანს, რომ ელემენტური დარიშხანის დენით გამოსავლი 60 %-ს აღემატება კათოლიტში დარიშხანის 25 გ/ლ - დან 100 გ/ლ - მდე და ნატრიუმის ჰიდროქსიდის 50 გ/ლ-დან 400გ/ლ მდე შემცველობისას (ნახ. 9, 10).

ელემენტური დარიშხანი კარგი ელექტროგამტარობით არ გამოირჩევა, ამიტომ კათოდზე სქელი დანაფარის სახით მისი გამოლექვა დიდ სირთულეებთანაა დაკავშირებული, დაბალი ელგამტარობის გამო ძაბვა სწრაფად იზრდება და დენი ეცემა პრაქტიკულად ნულამდე. ჩატარებული ექსპერიმენტის პირობებში კათოდზე ელემენტური დარიშხანი თხელი დანაფარის სახით კრისტალდება, რომელიც ხსნარში ცვივა, ხოლო კათოდის თავისუფალი ზედაპირი განაგრძობს მუშაობას.



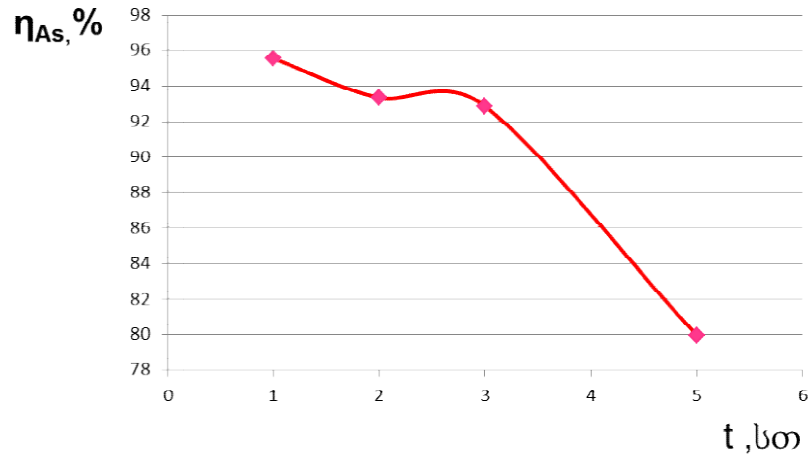
ნახ.10 ელემენტური დარიშხანის დენით გამოსავლის დამოკიდებულება  
 დარიშხანის კონცენტრაციაზე  
 კათოლიტი: NaOH -400გ/ლ;  
 ანოლიტი: NaOH- 80 გ/ლ  
 კათოდი-Ti; ანოდი -ORTA; t- 80 °C;  
 t – 3სთ; i- 0,1 ა/სმ²; I – 0,4 ა



ნახ. 11 ელემენტური დარიშხანის დენითი გამოსავლისდამოკიდებულება  
 კათოლიტში NaOH კონცენტრაციაზე  
 კათოლიტი: As- 71,20 გ/ლ,  
 ანოლიტი: NaOH- 80 გ/ლ  
 კათოდი-Ti; ანოდი -ORTA; t- 80 °C;  
 t – 3სთ; i- 0,1 ა/სმ²; I – 0,4 ა



პროცესის ხანგრძლივობის ზრდასთან ერთად კათოდური დენით გამოსავალი მცირდება, კერძოდ, 1-დან 3 სთ - მდე პროცესის ხანგრძლივობისას კათოდური დენით გამოსავალი 96 -დან 93 % მცირდება, პროცესის კიდევ ორი საათით გაგრძელების შემთხვევაში გამოსავალი 80% -მდე ეცემა(ნახ.12).

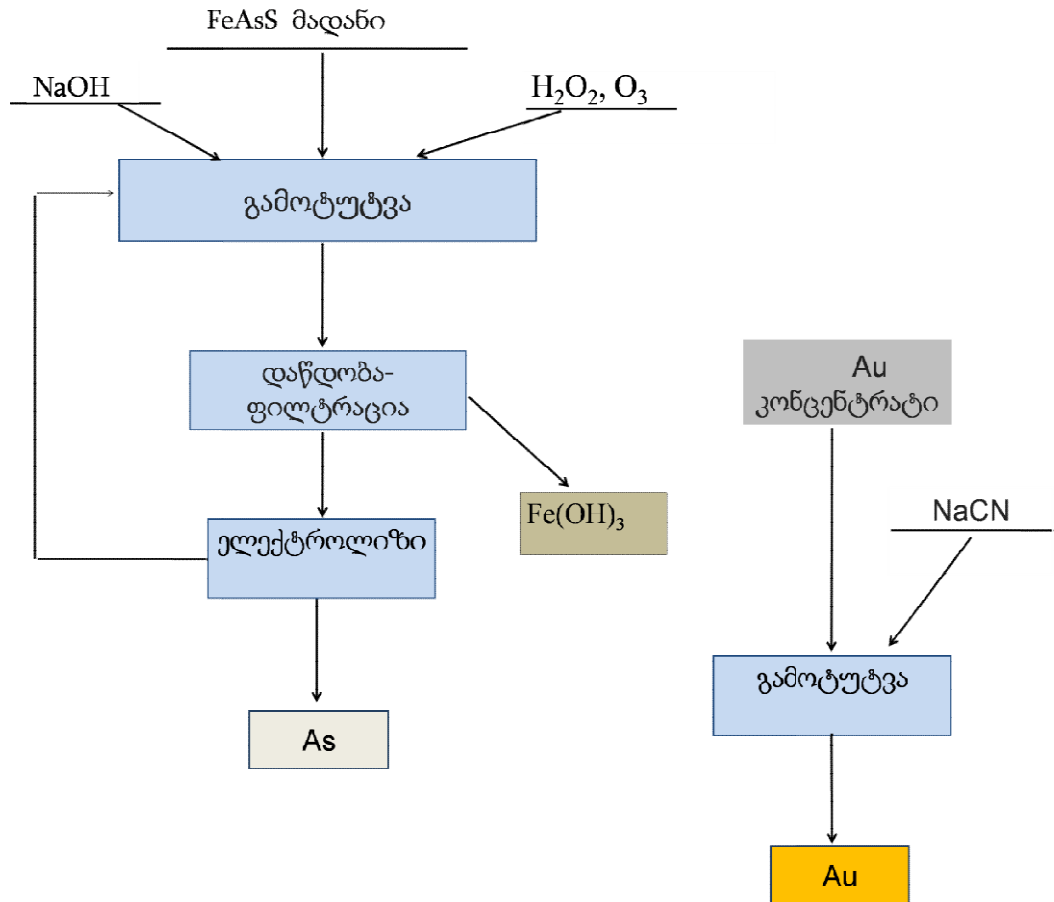


ნახ.12. ელემენტური დარიშხანის დენით გამოსავლის დამოკიდებულება ელექტროლიზის პროცესის ხანგრძლივობაზე

კათოლიტი: As- 71,20 გ/ლ, NaOH -400გ/ლ;  
 ანოლიტი: NaOH- 80 გ/ლ  
 კათოდი-Ti; ანოდი -ORTA;  
 t- 80 °C; i- 0,1 ა/სმ<sup>2</sup>

ამგვარად, ელექტროკრისტალიზაციის პროცესის კვლევის შედეგების საფუძველზე შერჩეულია საკათოდე მასალა დადგენილია ცანის არსენოპირიტული მადნისა და მისი სამრეწველო გადამუშავების ნარჩენების გამოტუტვის შედეგად მიღებული ხსნარებიდან ელემენტური დარიშხანის გამოლექვის პროცესის ოპტიმალური პირობები: კათოდური დენის სიმკვრივე 0,05 – 0,1 ა/სმ<sup>2</sup>; ტემპერატურა - 65-80°C; პროცესის ხანგრძლივობა - 3 სთ; დარიშხანის კონცენტრაცია კათოლიტში - 25-100 გ/ლ; ნატრიუმის ტუტის კონცენტრაცია კათოლიტში - 300- 400 გ/ლ.

კვლევის შედეგებზე დაყრდნობით შემოთავაზებულია ცანის არსენოპირიტული მადნის და მისი სამრეწველო ნარჩენების ჰიდრომეტალურგიული გადამუშავების ტექნოლოგიური სქემა (ნახ.13).



ნახ. 13. დარიშხანის მადნების გადამუშავების ტექნოლოგიური სქემა.

შემოთავაზებული ტექნოლოგიური სქემით ცანის არსენოპირიტული მადნის და მისი სამრეწველო ნარჩენების გადამუშავების ორი ძირითადი სტადიის გამოტუტვისა (ტუტე არეში წყალბადის ზეჟანგისა და ოზონის გამოყენება) და ელექტროლიზის ტექნოლოგიური მახასიათებლების საორიენტაციო გათვლებმა (ცხრილში 4.) გვიჩვენა, რომ ტექნოლოგიის პრაქტიკული რეალიზაცია რენტაბელური იქნება.

ცხრილი 4. ცანის არსენოპირიტული მადნის ჰიდრომეტალურული  
გადამუშავების ტექნოლოგიური პროცესის ძირითადი მახასიათებლები

დასახელება	რაოდენობა
ლითონური დარიშხანი, As, კგ	1
რკინის ჰიდროქსიდი $Fe(OH)_3$ , კგ/კგAs	1,4
35 გ/ტ Au შემცველი კონცენტრატი, კგ	0,27
ნატრიუმის სულფატის კრისტალჰიდრატი $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ , კგ/კგAs	4,21
გამოტუტვის პროცესის ტემპერატურა, °C	60-65
გამოტუტვის ხარისხი, %	97,5
კათოდური დენის სიმკვრივე, ა/სმ <sup>2</sup>	0,1
ანოდური დენის სიმკვრივე, ა/სმ <sup>2</sup>	0,05
ძაბვა აბაზანაზე, V	3,1
ელექტროლიზის პროცესის ტემპერატურა, °C	70-80
მიზნობრივი პროდუქტის დენით გამოსავალი, %	92-96
დარიშხანის ამოღების ხარისხი მადნიდან პროდუქტამდე, %	94,21
მადნის ხარჯი, კგ/კგ	2,41
ტექნიკური ტუტის ხარჯი, კგ/კგ	1,7
წყალბადის პეროქსიდის (50%) ხარჯი, კგ/კგ	2,72
ოზონის ხარჯი, კგ/კგ	2,56
ელექტროენერგიის ხარჯი, კვტ/კგ	5,051

## დასკვნა

1. ლიტერატურის ანალიზური განხილვის შედეგად დადგენილი იქნა, რომ დღეს მსოფლიოში დარიშხანით მდიდარი ოქროს შემცველი არსენოპირიტული მადნების ჰიდრომეტალურგიული მეთოდით გადამუშავება, ძირითადი კომპონენტების კომპლექსური ამოღებით და ეკოლოგიური რისკების შემცირების მიზნით, ატმოსფერულ წნევისა და დაბალი ტემპერატურის პირობებში, პერსპექტიულია.

2. გათვლილი იქნა ცანის არსენოპირიტული მადნის და მისი სამრეწველო ნარჩენების პირო- და -ჰიდრომეტალურგიული გადამუშავებისას მიმდინარე რეაქციების თერმოდინამიკური პარამეტრები. დადგენილი იქნა, რომ არსენოპირიტის ჟანგვითი გამოწვისას ადგილი აქვს დარიშხანის (V) ოქსიდის წარმოქმნას, რომელიც ურთიერთობაში შედის სარეაქციო არეში მყოფ რკინასთან და წარმოქმნის წყალში უხსნად რკინის (II) და რკინა (III) არსენატებსა და არსენიტებს, რაც რენტგენოფაზურმა ანალიზებმაც დაადასტურა. მიღებულმა შედეგებმა აჩვენა, რომ ჰიდრომეტალურგიული გადამუშავების პროცესისათვის დამახასიათებელი რეაქციები NaOH არეში დამჟანგველად  $H_2O_2$  და  $O_3$  დამატებისას შეუქცევადად მიმდინარეობს.

3. დადგენილი იქნა, რომ ცანის არსენოპირიტული მადნისა და მისი საწარმოო ნარჩენების ჰიდრომეტალურგიული გადამუშავება შესაძლებელია პირდაპირ, გამდიდრების გარეშე, ტუტე გარემოში დამჟანგველად წყალბადის ზეჟანგისა და ოზონის დამატებისას ატმოსფერული წნევისა და დაბალი ტემპერატურების პირობებში.

4. დადგენილი იქნა ცანის არსენოპირიტული მადნის ნარჩენებიდან ელემენტური დარიშხანის ამოღებისა და ოქროს მდიდარი კონცენტრატის მიღების ოპტიმალური პირობები მისი ნატრიუმის ჰიდროქსიდის ხსნარში გამოტუტვისას დამჟანგველად წყალბადის ზეჟანგის გამოყენებით:

$C_{NaOH}$ —3-4 მოლ/ლ; კონც.:  $H_2O_2:O_3=$  1:2; მგ:თხ = 1:6; t – 60-65 °C; τ-3-5სთ; n=750-800 ბრ/წთ.

5. ელემენტური დარიშხანის და ოქროთი გამდიდრებული კონცენტრატის მიღების მიზნით შესწავლილი იქნა ცანის დარიშხანის არსენოპირიტული მადნის ნატრიუმის ჰიდროქსიდის ხსნარში გამოტუტვის პროცესი, დამუანგველებად წყალბადის ზეჟანგისა და ოზონის ერთდროული გამოყენებით. დადგენილია პროცესის ოპტიმალური პარამეტრები:  $C_{\text{NaOH}}=3-4$  მოლ/ლ;  $\text{FeAsS} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{O}_3 = 1:3:3$ ;  $\text{მყ:თხ} = 1:6 - 1:10$ ;  $t = 60-65$  °C;  $\tau=3-5$  სთ;  $n=750-800$  ბრ/წთ.

6. შესწავლილია ტუტე ხსნარებიდან ელემენტური დარიშხანის მიღების შესაძლებლობა ელექტროლიზის მეთოდით, მაღალი დენით გამოსავლებით, კათოდად ვენტილური ლითონის- ტიტანის გამოყენების შემთხვევაში. დადგენილია პროცესის ოპტიმალური პირობები: კათოდური დენის სიმკვრივე  $0,05 - 0,1$  ა/სმ<sup>2</sup>; ტემპერატურა -  $65-80$ °C; პროცესის ხანგრძლივობა - 3 სთ; დარიშხანის კონცენტრაცია კათოლიტში - 25-100 გ/ლ; ნატრიუმის ტუტის კონცენტრაცია კათოლიტში - 300- 400 გ/ლ.

7. გათვლილია ტექნოლოგიური პროცესის ძირითადი მახასიათებლები დადგენილია, რომ 1 კგ ელემენტური დარიშხანის ელექტროკრისტალიზაციისას 1,4 კგ  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , 0,27 კგ ოქროს კონცენტრატი მიიღება 2,41 კგ მადნის ხარჯით.

8. დადგენილია ძირითადი პროდუქტების შედგენილობა: ელემენტური დარიშხანი  $\geq 99,5$  %; ოქროს კონცენტრატი, მიღებული საწარმოო ნარჩენებიდან, %: Au – 80 გ/ტ; Ag – 75 გ/ტ; As – 0, 32; Fe >10; S – 0,69; ოქროს კონცენტრატი მიღებული მადნის გადამუშავების შედეგად, %: Au – 20 გ/ტ; Ag – 70 გ/ტ; As – 1, 10; Fe – 69, 82; S – 5, 12.

დისერტაციის ძირითადი შედეგი გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში:

1. ლ. ჩხიკვაძე, ი. კახნიაშვილი, თ. წილოსანი, ლ. ანთაშვილი „დარიშხანშემცველი სულფიდური ნედლეულიდან ოქროს ამოღების შესაძლებლობა” -საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, ტ.15, №2, 2015წ. გვ.127.
2. ი.კახნიაშვილი, ლ.ჩხიკვაძე, ზ.ოქროსცვარიძე, თ.წილოსანი „დარიშხანის და ოქროშემცველი სულფიდური ნედლეულიდან დარიშხანისა და ოქროს ამოღების შესაძლებლობის კვლევა. სტუ შრომები. შრომა №1 (499), 2016, გვ.49.
3. თ. წილოსანი, ი. კახნიაშვილი, ლ. ჩხიკვაძე, ზ. სვანიძე, გ. გორელიშვილი „არსენოპირიტული მადნის ჰიდრომეტალურგიული გადამუშავების პროცესის შესწავლა დამჟანგველის დამატებისას”, საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, ტ.17 №1. 2017წ. გვ.

## Abstract

In recent times, there has been a sharp increase in the imbalance between supply and demand of gold in the world, which creates a serious economic problem for those producing and processing raw materials. It is practically exhausted with easy processing (raw materials that are already subject to the existing technological cycle) of gold-containing raw materials. All this is necessary to develop a methodology that will be cost effective for the development of new areas that can not be processed with the existing standard technological cycle due to different structural components.

These newly searched oceans are hard-to-do with stabilizers. The golden stability of this type is related to two factors: first in its sulfites. In Arsenofire, gold is in isomorphic and dispersed form. This reduces the efficiency of the solvent gold. The second is the presence of carbonated compounds, which serve as the role of sorbitine for gold that contributes to the growth of its loss (in the tissue processing technological unit). The simultaneous existence of these two factors gives rise to the fact that it is a sustainable, hard-working processor. The type of sustainable ores in which gold is gained and Arsenopropy belongs to gold. Despite the extensiveness of the ore (0,074 mm), the cyanide process still does not provide the desired result of the gold withdrawal.

Tsanis arsenopirit of ore, gold ore containing sulfide hydrometallurgical processing which would allow the country not only as a product of a metal such as arsenic, but also points to the additional gold and at the same time reduce the environmental risks of such pyrometallurgical processing of ores.

The purpose of the work is to research the process of hydrometallurgical processing of arsenic ocean and its industrial wastes by means of elemental arsenic and gold concentrate.

Hydrometallurgical recycling of the arsenic spatial os of the cation was done in the absorption of sodium hydroxide solution in atmospheric pressure. Hydrogen peroxide and ozone were selected for oxidation. Both of them belong to strong oxidants. They are a safe substance in the process of leaching, such as water and oxygen.

The X-ray analyzes have been documented the composition of waste processing of industrial arsenic ore of the cyan and its hydrometallurgy processing process has been studied to add hydrogen peroxide oxidation in sodium hydroxide solution. Optimal conditions of the process were established.

The process of direct hydro metallurgical processing of the arsenic oscillation of the oceans was studied in conditions of atmospheric pressure in the absorption of hydrogen oxide and ozone in the oxidation of sodium hydroxide solution.

The study of hydro metallic processing of hydroelectric processes of arsenicular ores with high content of arsenic was carried out in alkaline environments - using sodium hydroxide and the possibility of its extraction was determined by the high quality of arsenic.

The study was carried out with an electrochemical method to determine the possibility of extraction of elemental arsenic from the anticonvulsant ore and its industrial wastes. The effect of different parameters was studied on the process of electrostration of elemental arsenic from alkaline solutions. It has been established that from the solutions of the elemental arsenic cathode can be obtained with high power outputs, taking into consideration the optimal conditions of the process.

The technological process of processing of arsenic oscillating ozone and its industrial waste hydrometallurgical method has been developed, which includes ecological risks related to the processing of arsenic ores.