

UDC 669.2/.8

SCOPUS CODE 1601

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-3-123-133>

ცანის არსენოპირიტული მადნის ჟანგვითი გამოტუტვის შედეგად მიღებული ტუტე ხსნარებიდან ელემენტური დარიშხანის ელექტროკრისტალიზაცია და პროცესის მალმიტირებელი პარამეტრების შემუშავება

თამარ წილოსანი	ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69 E-mail: tsilosanitamari04@gtu.ge
თამარ ცერცვაძე	ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69 E-mail: tamartsercvadze@gtu.ge
თამაზ ბუჩუკური	ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69 E-mail: t.buchukuri@gtu.ge
ნატა კანთელაძე	ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 71 E-mail: n.kanteladze@gtu.ge

რეცენზენტები:

თ. ლეჟავა, თსუ-ის რაფიელ აგლაძის სახელობის არაორგანული ქიმიისა და ელექტროქიმიის ინსტიტუტი. მეცნიერებათა აკადემიური დოქტორი

E-mail: tinsaemili@yahoo.com

მ. დონაძე, სტუ-ის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი. თსუ-ის რაფიელ აგლაძის სახელობის არაორგანული ქიმიისა და ელექტროქიმიის ინსტიტუტის უფროსი მეცნიერ თანამშრომელი

E-mail: m.donadze@gtu.ge

ანოტაცია. ელექტროქიმიური მეთოდით ელემენტური დარიშხანის მისაღებად საჭიროა ელექტროლიზის ისეთი პირობების შერჩევა, რომლის დროსაც მიიღება მაღალი დენით გამოსავლის, გამორჩეულად თხელი ფენის მქონე დარიშხანი.

სტატიაში განხილულია საქართველოში, სვანეთში, ლენტეხის მუნიციპალიტეტში, ცანაში არსებული არსენოპირიტული მადნის ჟანგვითი გამოტუტვის შედეგად მიღებული ტუტე ხსნარებიდან ელემენტური დარიშხანის ელექტროკრისტალიზაცია

ციის პროცესი. დადგინდა პროცესზე მოქმედი პარამეტრები და მათი ოპტიმალური მნიშვნელობები.

საცნობარო ნაშრომებში კათოდურ ვერცხლისწყალს იყენებენ, რომელზეც დარიშხანი ფხვნილის სახით გამოიყენება. ის არ რეაგირებს ვერცხლისწყალთან, ადვილად იფილტრება, მაგრამ მისი ნაკლი არის ის, რომ სამრეწველო მასშტაბებში ვერცხლისწყლის კათოდს არ იყენებენ. გარდა ამისა, ელექტროლიტში სპილენძის, ნიკელისა და ანთიმონის იონების ასრეობა ხსნარში გამოყოფილ დარიშხანს აბინძურებს. პროცესის სამრეწველო მასშტაბით განსახორციელებლად კათოდურ გამოყენებული უნდა იყოს რომელიმე ვენტილური ლითონი, მაგალითად ტიტანი. იგი რენტგენურია როგორც წინასწარი დამუშავების გარეშე, ისე ტიტანის ოქსიდით ან ნიტრიდით დამუშავების შემთხვევაში. ასევე ყურადსაღებია საანოდო მასალაც. ძირითადად გამოიყენება ნიკელის, პლატინის ან ორტას ელექტროდი.

თეორიული და ექსპერიმენტული სამუშაოების შედეგად შევისწავლეთ ცანის არსენოპირიტული მადნის ჟანგვითი გამოტუტვის შედეგად მიღებული ნატრიუმის არსენატისა და არსენიტის შემცველი ტუტე ხსნარებიდან ელემენტური დარიშხანის ელექტროკრისტალიზაციის პროცესის ძირითადი მახასიათებელი პარამეტრები: დენის სიმკვრივის, ტემპერატურის, ელექტროლიტში დარიშხანისა და ნატრიუმის ჰიდროქსიდის კონცენტრაციის, ელექტროლიზის პროცესის ხანგრძლივობის და საკათოდო მასალის გავლენა ელემენტური დარიშხანის დენით გამოსავალზე.

თეორიული და ექსპერიმენტული სამუშაოების შედეგების საფუძველზე დადგინდა ცანის არსენო-

პირიტული მადნის ჟანგვითი გამოტუტვის შედეგად მიღებული ტუტე ხსნარებიდან ელემენტური დარიშხანის მიღების ოპტიმალური პირობები ელექტროკრისტალიზაციის პროცესში. ასევე შემუშავდა ტექნოლოგიური სქემა.

საკვანძო სიტყვები: გამოტუტვა; დენის სიმკვრივე; ელექტროკრისტალიზაცია; ოპტიმალური პირობები.

შესავალი

საქართველოს ძირითად ოქროს საბადოს, რომლიდანაც ოქროს ამოღება ამჟამად მიმდინარეობს, მადნეულის ოქროს კვარციტული საბადო წარმოადგენს, თუმცა, ოქრო ფერადი ლითონების მადნებშიც მოიპოვება, რომელთა ადგილზე გადამუშავება ოქროს წარმოებას გაზრდიდა ქვეყანაში. ერთ-ერთი ასეთი მადანი არის ცანის არსენოპირიტული მადანი, რომლის ჰიდრომეტალურგულად გადამუშავების შემთხვევაში შესაძლებელი იქნება ქვეყანამ არა მარტო ოქროს დამატებითი რაოდენობა, არამედ ისეთი მნიშვნელოვანი პროდუქტიც მიიღოს, როგორცაა ლითონური დარიშხანი. ლითონური დარიშხანი და მისი ნაერთები ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა დარგში, კერძოდ ნახევარგამტარულ ტექნიკაში. ეს უკანასკნელი, თავის მხრივ, მოიცავს რადიოელექტრონიკას, მიკროელექტრონიკას, ლაზერულ ტექნიკას, მზის ბატარეებს და სხვა. ფართოა დარიშხანის ნაერთების გამოყენების არეალი: მინის და ბროლის წარმოება, ბოჭკოვანი ოპტიკა, ელექტროგრაფია, ჰოლოგრაფია, სოფლის მეურნეობა, ხის დამუშავების ტექნოლო-

გია, ვეტერინარია, ქიმიური მრეწველობა, ტყავის დამუშავება და სხვა. დარიშხანისა და ოქროს შემცველი სულფიდური კონცენტრატი და სამრეწველო გადამუშავების ნარჩენები მათი ტექნოლოგიური მდგრადობის გამო ძირითადად პირომეტალურგიული მეთოდით გადამუშავდება, რომლის დროსაც წარმოიქმნება მტვერი და აირადი გოგირდის დიოქსიდი. გამონაბოლქვი აირების გაწმენდა რთულია, ძვირი და ზოგიერთ შემთხვევაში არასაკმარისად ეფექტურიც. გოგირდის დიოქსიდი საწარმოდან ათასობით კილომეტრზე ვრცელდება და მავნე ზეგავლენას ახდენს გარემოზე. ამასთან დაკავშირებით, მთელს მსოფლიოში დიდი ყურადღება ექცევა სულფიდური მადნებიდან და კონცენტრატებიდან ლითონების მიღებას ჰიდრომეტალურგიული მეთოდით, რომელიც უზრუნველყოფს გარემოზე მავნე ზემოქმედების შემცირებას. დარიშხანთან დაკავშირებულ პუბლიკაციებში, ძირითადად შესწავლილია დარიშხანის ამოღება ფერადი ლითონების საწარმოებიდან ჩამდინარე წყლებიდან, ფერადი ლითონების რაფინირებისას გამოყენებული ელექტროლიტებიდან [1,2]; ელექტროლიტიდან დარიშხანის ძირითადი რაოდენობის ამოღების მიზნით შემოთავაზებულია ელექტროლიზის ჩატარება უდიაფრაგმო აბაზანაში, სპილენძის კათოდით 50-200 ა/მ² დენის სიმკვრივის პირობებში. კათოდზე გამოილექება დარიშხანი სპილენძთან ერთად. არსინის გამოყოფის თავიდან აცილების მიზნით არჩევენ დენის სიმკვრივეს, რაც სპილენძის იონების კონცენტრაციაზეა დამოკიდებული [3,4,5]; ცნობილია ელემენტური დარიშხანის გამოლექვა კოროზიამდეგი დანაფარების მისაღებად. გალვანურ დანაფარებს ლებულობენ მჟავა, ტუტე და ცია-

ნური ხსნარებიდან. ამ დროს კათოდზე დაბალი ელექტროგამტარობის მქონე დარიშხანი წარმოიქმნება, რის გამოც ძაბვა ელექტროლიზერზე ნალექის სისქის ზრდასთან ერთად სწრაფად იზრდება. ამ მიზეზის გამო შესაძლებელია მხოლოდ დარიშხანის თხელი დანაფარის მიღება. ამ დროს დენით გამოსავალი სწრაფად ეცემა და შეიძლება პროცესი საერთოდ შეწყდეს [6,7].

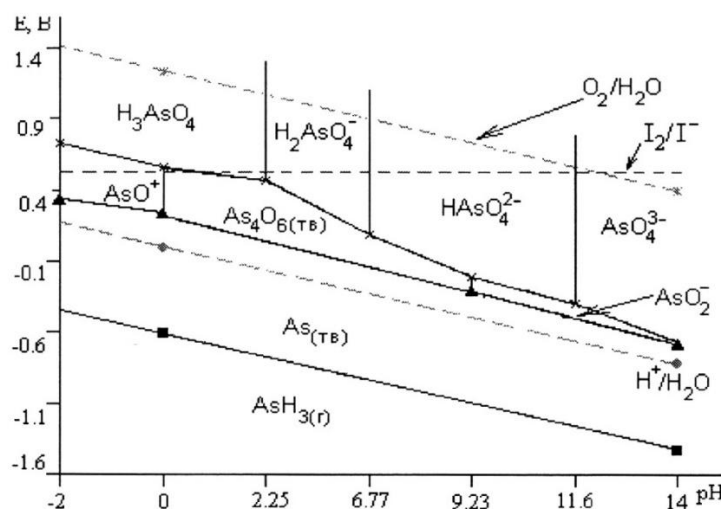
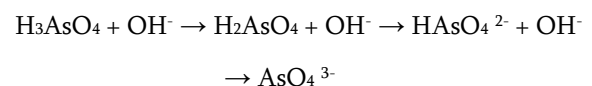
ძირითადი ნაწილი

კვლევის მიზანია არსენოპირიტული მადნის ჟანგვითი გამოტუტვის შედეგად მიღებული ნატრიუმის არსენიტისა და არსენატის შემცველი ტუტე ხსნარებიდან ელემენტური დარიშხანის ელექტროკრისტალიზაციის პროცესის კვლევა. პროდუქტის ხარისხსა და დენით გამოსავალზე მოქმედი პარამეტრების - დენის სიმკვრივის, ტემპერატურის, ელექტროლიტში დარიშხანისა და ნატრიუმის ჰიდროქსიდის კონცენტრაციების, პროცესის ხანგრძლივობის და საკათოდე მასალის გავლენის შესწავლა. კვლევის ობიექტია საქართველოში, კერძოდ ცანაში მდებარე არსენოპირიტული მადანი. კონკრეტულად ეს მადანი XX საუკუნის ოცდაათიანი წლებიდან არის შესული ექსპლუატაციაში, სამვალენტო იონის ოქსიდის, ეგრეთ წოდებული თეთრი დარიშხანის მიღების მიზნით. აღნიშნული მადნის ჟანგვითი გამოწვის ტექნოლოგიური პროცესი ხორციელდებოდა ქვემო სვანეთში, ლენტეხის მუნიციპალიტეტის ცანისა და ყორუნდაშის ქარხნებში. მათი მუშაობის შედეგად წარმოების მყარი ნარჩენებით მნიშვნელოვნად დაბინძურდა მიმდებარე ტერიტორიები. ამასთანავე, ნარჩენებში დარიშხანის არსებობა მიუთითებს ამ უკანასკნელის მნიშვნე-

ნელოვან დანაკარგზე. ტექნიკური უნივერსიტეტის ფერადი მეტალურგიის მიმართულების კათედრაზე ჩატარებული კვლევების შედეგად დადგინდა აღნიშნულ ნარჩენებში დარიშხანის მნიშვნელოვანი შემცველობა, რამაც განაპირობა დაბინძურების პროცესის ქიმიზმის ანალიზის აქტუალობა.

ელექტროქიმიური მეთოდით ელემენტური დარიშხანის მისაღებად კათოდის მასალად ვერცხლისწყლის გამოყენებით შესაძლებელია თავისუფალი დარიშხანის გამოყოფა ფხვნილის სახით, რომელიც ადვილად იფილტრება და არ რეაგირებს ვერცხლისწყალთან. პროცესის ნაკლია ის, რომ სამრეწველო მასშტაბით ვერცხლისწყლის კათოდის გამოყენება ვერ ხერხდება. სამრეწველო მასშტაბისთვის კათოდის მასალად ვენტილური ლითონი, ტიტანი იქნა გამოყენებული [8,9]. იგი წინასწარი

დამუშავებით – ნიტრიდით ან ტიტანის ოქსიდით მუშავდებოდა. ადგილი ჰქონდა მის გამოყენებას დამუშავების გარეშე [10]. რაც შეეხება ანოდს, გამოყენებული იყო პლათინა, ნიკელი ან ორტას ელექტროდი. კათოლიტად გამოიყენებოდა ტუტე ლითონების, მაგალითად ნატრიუმის ჰიდროქსიდის 50-400 გ/ლ კონცენტრაციის ხსნარი, რომელშიც დარიშხანის შემცველობა 23,9-97,9 გ/ლ ზღვრებში მერყეობდა [11,12]. დარიშხანის წყალხსნარებისათვის მდგრადობის E-pH დიაგრამაზე (სურ. 1) ნათლად ჩანს მისი მდგრადი უბნები. As(V) შემთხვევაში pH მნიშვნელობის გაზრდისას შემდეგი წონასწორობები შეინიშნება:



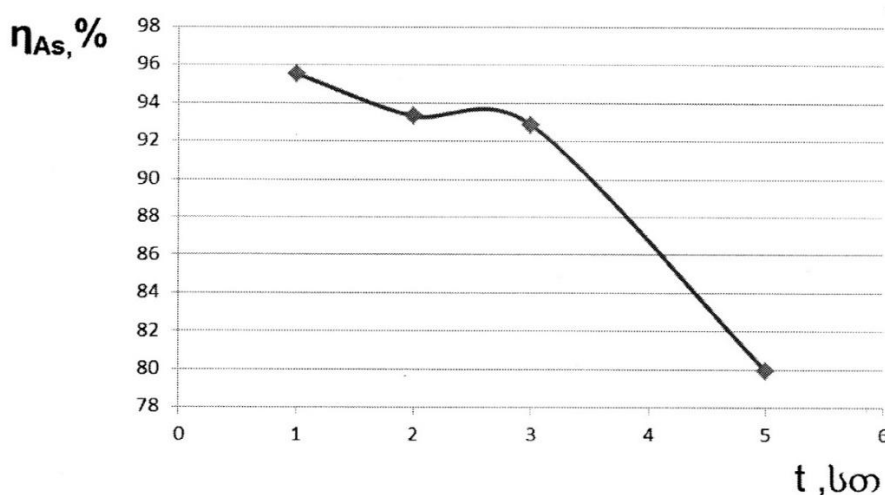
სურ. 1. E-pH დიაგრამა დარიშხანისთვის

როგორც დიაგრამიდან ჩანს, დარიშხანის სტაბილური არსებობა pH ცვლილების ფართო ზღვრებშია შესაძლებელი. წყალხსნარებში კი დარიშხანი არსებობს As(III) ნაერთების სახით [13]. როგორც

ცნობილია, მისი სამვალენტო ოქსიდი წყალში კარგი ხსნადობით გამოირჩევა, რაც დარიშხანის საწარმოების მახლობლად ეკოლოგიურ პრობლემებს კიდევ უფრო ამძიმებს [14].

საცნობარო ლიტერატურაზე დაყრდნობით და ექსპერიმენტის შედეგებიდანაც დასტურდება, რომ დარიშხანის დენით გამოსავალზე დიდ გავლენას ახდენს პროცესის ხანგრძლივობა (სურ. 2). ელემენტური დარიშხანი კარგი ელექტროგამტარობით არ გამოირჩევა, ამიტომ კათოდზე სქელი დანაფარის სახით მისი გამოლევა დიდ სირთულეებთან არის დაკავშირებული [15,16]. დაბალი ელექტროგამტარობის გამო ძაბვა სწრაფად იზრდება და შესაძლებელია ელექტროლიზის პროცესი შეწყდეს.

თხელი დანაფარის მიღების შემთხვევაში, იგი ხსნარში იყრება და თავისუფალი კათოდის ზედაპირი განაგრძობს მუშაობას. ხსნარიდან წვრილდისპერსული ელემენტური დარიშხანის გამოტანა პერიოდულად ხდება. პროცესის ხანგრძლივობასთან ერთად კათოდური დენით გამოსავალიც იცვლება. 1სთ-დან 3სთ-მდე პროცესის ხანგრძლივობის პირობებში დენით გამოსავალი 96%-დან 93%-მდე შემცირდა. პროცესის კიდევ ორი საათით გაგრძელება დენით გამოსავალს ამცირებს 80%-მდე.



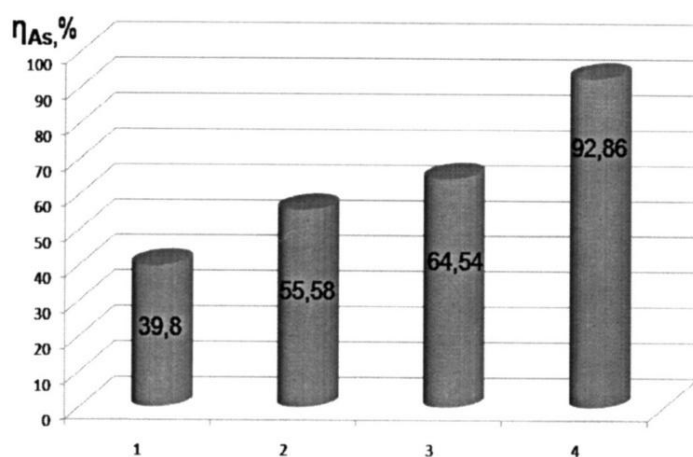
სურ. 2. ელემენტური დარიშხანის დენით გამოსავლის დამოკიდებულება

ელექტროლიზის პროცესის ხანგრძლივობაზე კათოლიტი:

$C_{As} - 71.20$ გ/ლ; $C_{NaOH} - 400$ გ/ლ; ანოლიტი: $C_{NaOH} - 80$ გ/ლ; კათოდი - Ti; ანოდი - ORTA;

არსენიტებისა და არსენატების ტუტე ხსნარებიდან ელემენტური დარიშხანის ელექტროკრისტალიზაციისათვის გამოკვლეული იყო სხვადასხვა საკათოდე მასალა, კეროდ, ექსპერიმენტები ჩატარდა სპილენძის, ტყვიის, უჟანგავი ფოლადის, ტიტანის და მის ბა-

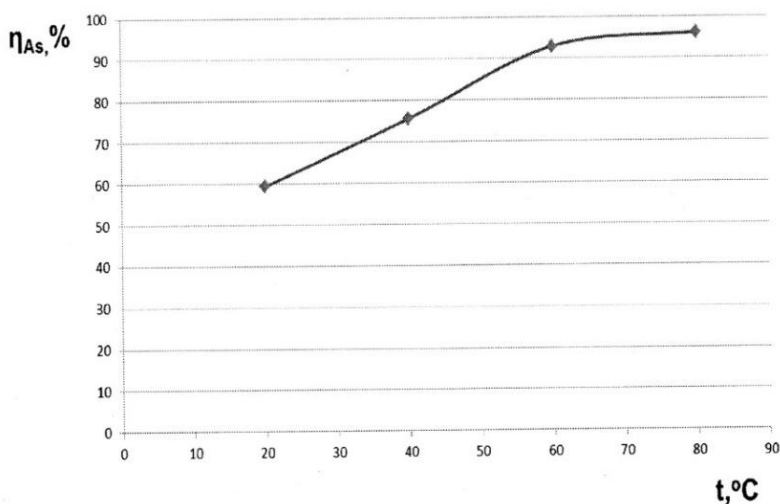
ზაზე დამზადებული ელექტროდების გამოყენებით. კვლევამ აჩვენა, რომ ელემენტური დარიშხანის ყველაზე მაღალი დენით გამოსავალი (92,86-96,00%) მიიღწევა ვენტილური ლითონის – ტიტანის კათოდად გამოყენების შემთხვევაში (სურ. 3).



სურ.3. ელემენტური დარიშხანის დენით გამოსავლის დამოკიდებულება საკათოდე მასალაზე კათოდი: 1 – Cu; 2 – Pb; 3 – უჯანგავი ფოლადი; 4 – Ti; ანოდი: ORTA.
კათოლიტი: $C_{As} = 71.20$ გ/ლ; $C_{NaOH} = 400$ გ/ლ; ანოლიტი: $C_{NaOH} = 80$ გ/ლ;

ელექტროკრისტალიზაციის პროცესზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ელექტროლიტის ტემპერატურა და მასში შემავალი დარიშხანისა და ნატრიუმის ჰიდროქსიდის კონცენტრაციები. ჩატარებული ექსპერიმენტის შედეგებიდან ჩანს, რომ ტემპერატურის გაზრდით 20-დან 60°C-მდე დარიშხანის

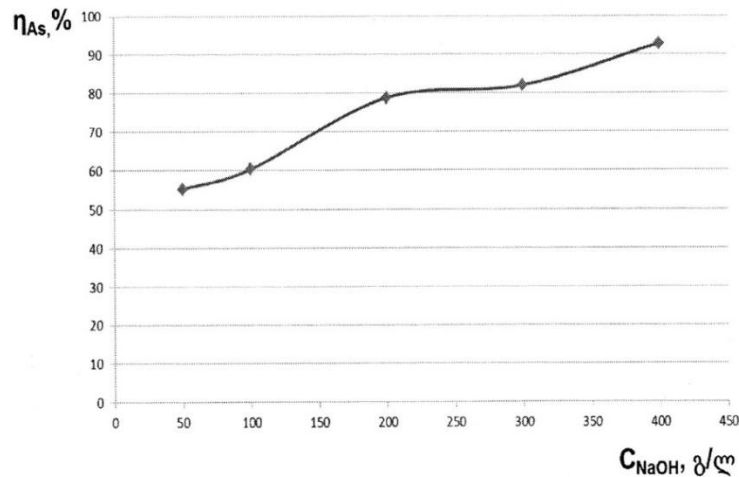
ნის დენით გამოსავალი 60-დან 92%-მდე იზრდება, ხოლო ტემპერატურის 80°C-მდე გაზრდით დენით გამოსავალი 98%-ს აღწევს. ტემპერატურის კიდევ უფრო გაზრდა მიზანშეწონილი არ არის, რადგან ამ დროს ორთქლდება ელექტროლიტი (სურ. 4).



სურ.4. ელემენტური დარიშხანის დენით გამოსავლის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე კათოლიტი: $C_{NaOH} = 400$ გ/ლ; $C_{As} = 71.20$ გ/ლ; ანოლიტი: $C_{NaOH} = 80$ გ/ლ; კათოდი - Ti; ანოდი-ORTA; T = 80°C; I = 0,4 ა; i = 0,1 ა/სმ²; τ = 3 სთ.

კათოლიტში დარიშხანის 25 გ/ლ-დან 100 გ/ლ-მდე და NaOH-ის 50 გ/ლ-დან 400 გ/ლ-მდე შემცველობისას ელემენტური დარიშხანის დენით გამოსავალი 60%-ს აღემატება. კათოლიტში ნატრიუმის

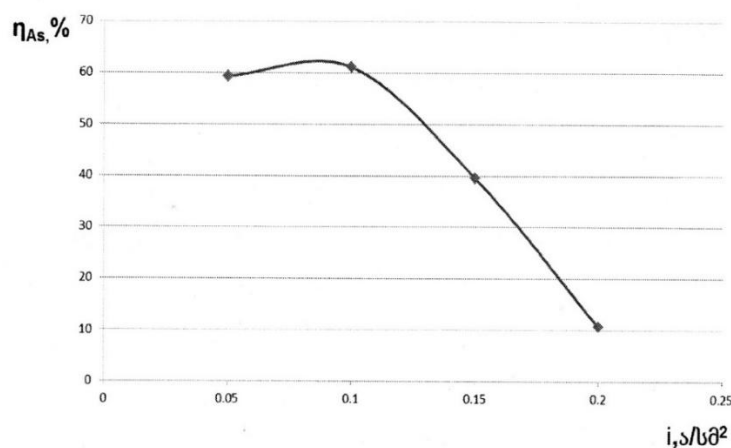
ჰიდროქსიდის კონცენტრაციის მატებასთან ერთად იზრდება დენით გამოსავალი და მცირდება დარიშხანის აირადი ნაერთის არსინის წარმოქმნის ალბათობა.



სურ. 5. ელემენტური დარიშხანის დენით გამოსავლის დამოკიდებულება კათოლიტში NaOH-ის კონცენტრაციაზე. კათოლიტი: $C_{As} = 71.20$ გ/ლ; ანოლიტი: $C_{NaOH} = 80$ გ/ლ; კათოდი - Ti; ანოდი - ORTA; $t^\circ = 80^\circ C$, $T = 3$ სთ; $i = 0,1$ ა/სმ²; $I = 0,4$ ა;

ლიტერატურაში არსებობს ურთიერთსაწინააღმდეგო მოსაზრებები დარიშხანის შემცველი ხსნარების ელექტროქიმიური აღდგენის პროცესში დენის სიმკვრივის გავლენასთან დაკავშირებით. ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ 0,05 ა/სმ²-დან

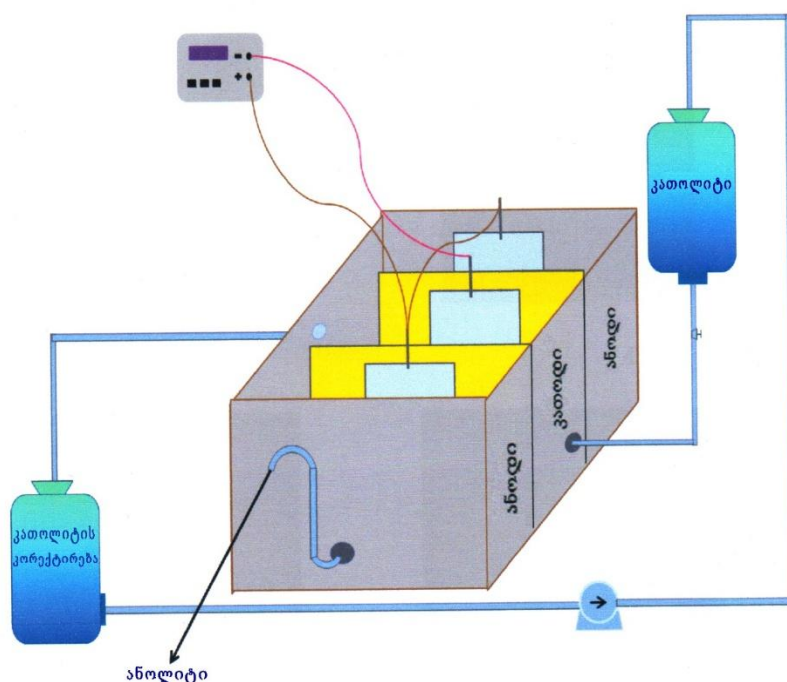
0,1 ა/სმ²-მდე დენის სიმკვრივის გაზრდისას დენით გამოსავალი იზრდება 62,545%-მდე, ხოლო დენის სიმკვრივის შემდგომი ზრდა იწვევს დენით გამოსავლის კლებას (სურ.6).



სურ. 6. ელემენტური დარიშხანის დენით გამოსავლის დამოკიდებულება დენის სიმკვრივეზე. კათოლიტი: $C_{As} = 71.20$ გ/ლ; $C_{NaOH} = 400$ გ/ლ; ანოლიტი: $C_{NaOH} = 120$ გ/ლ; კათოდი - Ti; ანოდი - ORTA; $t = 65^\circ C$; $I = 0,4$ ა.

ექსპერიმენტი მიმდინარეობდა უწყვეტ რეჟიმში, დროის სხვადასხვა ხანგრძლივობით. ელექტროლიზი ტარდებოდა კათიონიტური მემბრანით MK-40, გაყოფილი ორგანული მინისაგან დამზადებული ერთი ლიტრი მოცულობის მქონე გამათბობ-

ლით და სარეველათი აღჭურვილ ცილინდრულ რეაქტორში. სუსპენზიის არევა ხდებოდა თვითრეგულირებად Biosan MM-1000 ტიპის მექანიკური სარევით (სურ. 7).



სურ. 7. ელემენტური დარიშხანის მისაღები დიაფრაგმიანი ელექტროლიზერის სქემა

ამრიგად, ელექტროკრისტალიზაციის პროცესის კვლევის შედეგების საფუძველზე შერჩეულია კათოდის მასალა (ტიტანი). დადგენილია ცანის არსენოპირიტული მადნისა და მისი სამრეწველო გადამუშავების ნარჩენების გამოტუტვის შედეგად მიღებული ხსნარებიდან ელემენტური დარიშხანის გამოლექვის პროცესების ოპტიმალური პირობები: კათოდური დენის სიმკვრივე 0.05-0.1 ა/სმ²; ტემპერატურა – 65-80°C; კათოლიტის შედგენილობა: Na_3AsO_3 25 – 100 გლ; NaOH 300-400 გ/ლ; ელექტროლიზის პროცესში Na_3AsO_3 და Na_3AsO_4 შემცველი ხსნარები-

დან ელემენტური დარიშხანის ელექტროკრისტალიზაცია შეიძლება გამოისახოს შემდეგი სქემით: $\text{As} (+5) \rightarrow \text{As} (+3) \rightarrow \text{As} (0)$.

ყოველივე ზემოთ ხსენებულის გათვალისწინებით, არსებულ ტერიტორიაზე დაკონსერვებული მადნის და მისი ნარჩენების ხელახალი გადამუშავების შემთხვევაში, ჩვენ მიერ შემოთავაზებული ტექნოლოგია მაქსიმალურად უზრუნველყოფს ტერიტორიის ეკოლოგიურ პრობლემას, დარიშხანის ამოღებას და ნარჩენებში მის უტილიზაციას.

დასკვნა

ელექტროკრიტალიზაციის პროცესის კვლევის საფუძველზე კათოდურ შევარჩიეთ საკათოდო მასალა – ტიტანი.

ცანის არსენოპირიტული მადნისა და მისი სამრეწველო გადამუშავების ნარჩენების გამოტუტვის შედეგად მიღებული ხსნარებიდან ელემენტური დარიშხანის გამოლექვაზე მოქმედი პარამეტრების ოპტიმალური პირობებია: კათოდური დენის სიმკვრივე 0,05-0,1 ა/სმ²; ტემპერატურა 65-80°C; პროცესის ხანგრძლივობა 3სთ; კათოლიტი 25-100 გ/ლ.

კვლევა ჩატარდა თსუ-ის რაფიელ აგლაძის სახელობის არაორგანული ქიმიისა და ელექტროქიმიის ინსტიტუტის ელექტროქიმიისა და ელექტრომეტალურგიის ლაბორატორიის ბაზაზე. მადლობას ვუხდით ინსტიტუტის ხელმძღვანელობას გაწეული დახმარებისთვის. განსაკუთრებულ მადლობას ვუხდით ლაბორატორიის ხელმძღვანელს, ბატონ გიგლა წურწუმიას და ლაბორატორიის თანამშრომლებს ექსპერიმენტის ჩატარებისას გაწეული დახმარებისთვის.

ლიტერატურა

1. Afanasev, G. M. (2006). Hydrometallurgical processing of resistant sulfide gold-bearing concentrates. *Comprehensive Use of Mineral Syringes*, 3, 21–28. (In Russian)
2. Alejanto Valenzuela, J. L., & Parga, J. R. (2013). Effect of pretreatment of sulfide refractory concentrate with sodium hypochlorite, followed by extraction of gold by pressure cyanidation on gold removal. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 3(3), Article 33942. <https://doi.org/10.4236/aces.2013.33021>
3. Arens, V. J., Gurevich, Y. D., & Kuricina, L. I. (1969). Studies of the process of dissociating roasting of arsenopyrite ore of the Tsana location. *Problems of Geotechnology in the Development of Mining Chemical Deposits*, 50, 155–163. (In Russian)
4. Gabri, L. J., Newville, M., Croizer, R. A., et al. (2000). Chemical speciation of gold in arsenopyrite. *The Canadian Mineralogist*, 38, 1265–1281.
5. Gupta, C. K., & Mukherjee, T. K. (1990). *Hydrometallurgy in extraction processes* (Vol. 1, pp. 167–176). CRC Press.
6. Lidin, R. A., Molochko, V. A., & Andreeva, L. L. (2007). *Reactions of inorganic substances* (2nd ed., p. 673). (In Russian)
7. Malishevsky, A. O., & Rastengaev, O. Y. (2016). The method of obtaining elemental arsenic (pp. 1–13). (In Russian)
8. Naboichenko, C. C., & MaMachenkov, C. V. (2004). *Arsenic in non-ferrous metallurgy*. Ural State University.
9. Navrocko, J., & Kasprzyk-Hondern, B. (2010). The efficiency and mechanisms of catalytic ozonation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 99, 27–42. (In Russian)
10. Novoselov, R. I., Makarchenkov, E. V., & Chuchalin, L. K. (1998). Patent of the Russian Federation for the leaching of arsenic from pyrite-arsenopyrite gold-containing concentrates. (In Russian).
11. Overseas Road Note 8: A user's manual for program to analyse dynamic cone penetrometer data. (1990). TRL Limited. Crowthorne, United Kingdom.
12. Shabalina, A. V., & Fachrutdinova, M. I. (2013). Investigation of the pH change of water during ozonation. *Vestnik Tomsk State University*, 375, 200–203. (In Russian)
13. Smirnov, M. K., Smetani, A. V., & Chernich, I. N. (2003). Isolation of arsenic and its compound by electrochemical method. *Inorganic Materials*, 39(1), 27–42. (In Russian)

14. Smetani, A. V., Pishkin, A. C., & Osipov, G. N. (2007). Isolation of arsenic from industrial waste of non-ferrous metals. *Inorganic Materials*, 10, 1219–1229. (In Russian)
15. Travkin, V. F. (2001). Isolation of arsenic from technological solutions of non-ferrous metallurgy enterprises. *Non-ferrous Metallurgy*, 4, 20–24. (In Russian)
16. Ruitenberg, R., Hansford, G. S., Reuter, M. A., & Breed, A. W. (1999). The ferric leaching kinetics of arsenopyrite. *Hydrometallurgy*, 52, 37–53.
17. The Albion Process Simplicity in Leaching. Copper Applications. (n.d.). Retrieved from <https://www.scribd.com/document/382166369/the-albion-process>

UDC 669.2/.8

SCOPUS CODE 1601

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2025-3-123-133>

Electrocrystallization of Elemental Arsenic From Alkaline Solution Obtained From Oxidative Leaching of Arsenopyrite Ore From Tsan and Development of Limited Process Parameters

Tamar Tsilosani	Department of Metallurgy, Metals Science and Metal Processing, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 69, M. Kostava str. E-mail: tsilosanitamari04@gtu.ge
Tamar Cercvadze	Department of Metallurgy, Metals Science and Metal Processing, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 69, M. Kostava str. E-mail: tamartsercvadze@gtu.ge
Tamaz Buchukuri	Department of Metallurgy, Metals Science and Metal Processing, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 69, M. Kostava str. E-mail: t.buchukuri@gtu.ge
Nato Kanteladze	Department Informatics and Control Systems, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 71, M. Kostava str. E-mail: n.kanteladze@gtu.ge

Reviewers:

T. Lezhava, Academic Doctor of Sciences, Rafiel Agladze Institute of Inorganic Chemical and Electrochemistry, TSU
E-mail: tinsaemili@yahoo.com

M. Donazde, Associate professor, Faculty of technologies and metalurgy GTU. Senior research fellow, Rafiel Agladze Institute of Inorganic Chemical and Electrochemistry, TSU
E-mail: m.donazde@gtu.ge

Abstract. The work discusses the process of electro crystallization of elemental arsenic from an alkaline solution obtained by oxidative leaching of arsenopyrite ore in Tsana, Svanety, Lentechi region, Georgia. The parameters applicable to the process and their optimal values were determined. To obtain elemental arsenic by electrochemical

method, it is necessary to select such electrolysis conditions, during which arsenic with high current solution, exceptionally low layer thickness is obtained. In reference works the cathode material is Mercury on which the dissolved arsenic is in a volatile form. The latter does not react with mercury is easy filtered, but its drawback is that on an industrial scale, the mercury cathode has no use. In addition the melting of copper, nickel and antimony ions in electrolyte degrades the arsenic released in the solution. To carry out the process on an industrial scale some ventilated metal, such as titanium, must be used as a cathode. It is cost-effective without pretreatment as well as when treated with titanium oxide or nitride. It's also a great way to get a look. Mainly nickel, platinum or ORTA electrode is used.

In the work as a result of theoretical and experimental works the main characteristic parameters of the electro crystallization process of elemental arsenic from alkaline solutions containing sodium arsenate and arsenite obtained as a result of oxidative leaching of tin arsenate were studied: current density, temperature, concentration of arsenic and sodium hydroxide in the electrolyte, effect of electrolysis process duration and cathode material on the solution of elemental arsenic current density.

In the work based on the results of theoretical and experimental works optimal conditions for obtaining elemental arsenic from alkaline solutions obtained by oxidative leaching of arsenic ore in the process of electro crystallization were established. A technological scheme was also developed.

Keywords: Current density; Electro crystallization; Leaching; Optimal conditions.

განხილვის თარიღი 10.04.2025

შემოსვლის თარიღი 15.04.2025

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 25.09.2025