

UDC 622.72

SCOPUS CODE 2201

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2023-2-47-54>

მადნეულის სპილენძის მადნების მამდიდრებელი ფაბრიკების მიმდინარე კუდების კომბინირებული ტექნოლოგიით დამუშავების საკითხები

- ნანა ჯიქია** შპს კავკასიის სამთო ჯგუფის ქიმიურ-ანალიტიკური ლაბორატორია, საქართველო, 1100, ბოლნისი, დავით აღმაშენებლის 2
E-mail: njikia@cmg.ge
- დემურ ტალახაძე** სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75
E-mail: talaxadzedemur03@gtu.ge
- ანზორ აბშილავა** სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75
E-mail: a.abshilava@gtu.ge

რეცენზენტები:

რ. ენაგელი, სტუ-ის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: enageliroin03@gtu.ge

ა. გიგინეიშვილი, სტუ-ის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: gigineishviliavtandil03@gtu.ge

ანოტაცია. მადნეულის სპილენძის მადნის მამდიდრებელი ფაბრიკა, რომელიც ექსპლუატაციაშია 1975 წლიდან, გადაამუშავებს მადნეულისა და საყდრისის საბადოების სპილენძ-კოლჩედანურ მადნებს. მადნები წარმოდგენილია სპილენძის პირველადი და მეორადი სულფიდებით. ზოგიერთ მადანში სპილენძის მეორადი სულფიდების დიდი რაოდენობისა და მათი ჩაწინწკულობის სირთულის გამო, სასაქონლო პროდუქციაში სპილენძის ამოკრევის

პროცენტი მცირეა – არ აღემატება 65-70%-ს. ასევე მცირეა ოქროს ამოკრევის პროცენტი – 50-60%. ასეთი მადნების გადამამუშავების შედეგად ფაბრიკიდან მიღებულ კუდებში სპილენძის შემცველობა 0,17-0,19%-ს აღწევს. შესაბამისად, მნიშვნელოვანია ოქროს შემცველობაც (0,3-0,6 გ/ტ). სტატიაში მოცემულია ფაბრიკიდან მიღებული მდიდარი კუდების გადამამუშავების კომბინირებული ტექნოლოგია, რომელიც ითვალისწინებს მათ წინასწარ გამდიდრებას გრავიტაციული მეთოდით (ცენტრი-

დანულ კონცენტრატორებში მოკლეკონუსიან ჰიდროციკლონებში), მიღებული გრავიტაციული კონცენტრატის, რომელშიც ოქროსა და სპილენძის შემცველობა შესაბამისად არის 5,29გ/ტ და 1,56% ჰიდრომეტალურგიული მეთოდით (გამოტუტვა და დაციანება) გადამუშავებას. აღნიშნული ტექნოლოგია საშუალებას მოგვცემს გავზარდოთ სასაქონლო პროდუქციაში ოქროსა და სპილენძის ამოკრეფა, შესაბამისად 20–25 და 17–20%-ით.

საკვანძო სიტყვები: ამოკრეფა; გამოტუტვა; გრავიტაციული კონცენტრატი; დაციანება; კევი; პულპის pH; ტუტე არე; ფლოტაცია; ფლოტაციური რეაგენტები; შემცველობა; ჩაწინწკლული; ძირითადი ფლოტაცია.

შესავალი

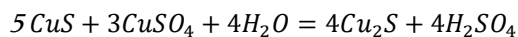
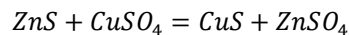
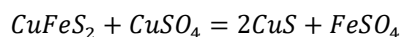
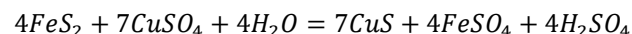
მადნეულის სპილენძის მამდიდრებელი ფაბრიკა ამჟამად ამუშავებს მადნეულისა და საყდრისის საბადოების სპილენძ-კოლჩედანურ მადნებს. მადნებში მადნეული მინერალები წარმოდგენილია სპილენძის პირველადი (ქალკოპირიტი) მეორადი (კოველინი და ქალკოზინი) და რკინის (პირიტი) სულფიდებით. არამადნეული მინერალები ძირითადად წარმოდგენილია კვარციტ, გვხვდება თიხაფიქლები, სერეციტი, ალუმინსილიკატები.

მადნეულისა და საყდრისის საბადოების მადნები მიეკუთვნება ოქროს შემცველ მდგრად მადნებს. ოქრო 80–85% წმინდად ემულსიურად არის ჩაწინწკლული სულფიდებში, განსაკუთრებით პირიტსა და ქალკოპირიტში. მცირე რაოდენობით გვხვდება თავისუფალი სახით და კვარცში.

მადნის გადამუშავების ტექნოლოგიური სქემა ითვალისწინებს კარიერებიდან მიღებული მადნის (სისხოთი 1100-1200 მმ) სამსტადიურ დამსხვრევას – პირველ სტადიაში ყბებიან, მეორე და მესამე სტადიებში კონუსურ სამსხვრეველებში; დამსხვრეული მასალის $P_{80}=25\text{მმ}$, სამსტადიური დაფქვისას $P_{80}=0,150\text{მმ}$ დაფქული მასალის ძირითად საკონტროლო და სამგადაწმენდით ფლოტაციას. სპილენძის კონდიციური კონცენტრაციის მიღების მიზნით ტექნოლოგიური სქემა პირდაპირ სელექციურია, რკინის სულფიდების (პირიტის) დეპრესიით, პულპის pH-ის მაღალი (12–12,5) მნიშვნელობის დროს. ოქროს ამოკრეფა კონცენტრატში ხდება თანამდევ მინერალებთან ერთად.

ძირითადი ნაწილი

მადნეულის საბადოზე მეორადი სულფიდები მიიღება მეორადი სულფიდური გამდიდრების ზონაში ჟანგბადის არარსებობისას გრუნტის წყლების ქვედა დონეზე: პირიტზე (FeS_2) ქალკოპირიტზე (CuFeS_2) სფალერიტზე (ZnS) სპილენძის აჯასპის (CuSO_4) ხსნარის მოქმედების შედეგად. რეაქციებს შემდეგი სახე აქვს:



სულფიდურ მინერალზე, განსაკუთრებით პირიტზე, რომელიც დიდი რაოდენობით გვხვდება მადნებში სპილენძის აჯასპის ზემოქმედების შედეგად სულფიდი მთლიანად ან ნაწილობრივ ჩანაცვლდება.

სრული ჩანაცვლების შემთხვევაში მიიღება სპილენძის სუფთა მეორადი სულფიდები CuS, Cu_2S , ხოლო არასრული ჩანაცვლების შემთხვევაში – მინერალი, რომელიც წარმოდგენილია ნაწილობრივ სპილენძის მეორადი სულფიდით და ნაწილობრივ პირიტით, ანუ პირიტი დაფარულია თხელი (რამდენიმე მიკრომეტრის ზომით) ქალკოზინის ან კოველინის აფსკით. ასეთი მინერალის ფლოტაციის შედეგად პირიტის მინერალის დეპრესიისას კუდებში პირიტის მინერალთან ერთად გადადის სპილენძის მეორადი სულფიდები. ეს უკანასკნელი განაპირობებს კუდებში სპილენძის დიდ კარგვას და, შესაბა-

მისად, სპილენძის კონცენტრატში სპილენძის მცირე ამოკრეფას. გახსნის ხარისხის გაზრდის მიზნით სასურველ შედეგს ვერ იძლევა კუდების ხელმეორედ დაფქვა და ფლოტაცია.

ჩვენ მიერ შემოთავაზებულია ტექნოლოგია, რომელიც ითვალისწინებს სპილენძისა და ოქროს შედარებით მდიდარი კუდების გრავიტაციულ გამდიდრებას და გრავიტაციული კონცენტრატის ჰიდრომეტალურგიული მეთოდით გადამუშავებას.

ცდებისათვის ავიღეთ ფაბრიკის ფლოტაციის კუდები, რაოდენობით 75კგ. სინჯის გრანულომეტრიული შედგენილობა მოცემულია 1-ელ ცხრილში.

ცხრილი 1

ფლოტაციური კუდების გრანულომეტრიული შედგენილობა

№	კლასის ზომა, მმ-ობით	გამოსავალი, %	შემცველობა %, გ/ტ		ამოკრეფა	
			Cu	Au	Cu	Au
1	0,400-0,200	11,09	0,12	0,43	7,0	8,53
2	0,200-0,100	19,6	0,11	0,46	11,35	16,1
3	0,100-0,074	17,21	0,19	0,82	17,67	25,20
4	0,074-0,044	30,7	0,25	0,49	40,39	26,86
5	-0,44	21,4	0,24	0,61	27,03	23,31
6	საერთო	100	0,19	0,56	100	100

როგორც ცხრილიდან ჩანს, სპილენძის შემცველობა ყველაზე მაღალია წვრილ კლასებში 0,074-0,044 და -0,44 მმ შესაბამისად 0,25 და 0,24%, ხოლო ოქროს შემცველობა ყველაზე მაღალია 0,1-0,074 მმ კლასში 0,84 გ/ტ.

გრავიტაციული მეთოდით კუდები გამდიდრდა „ИТОМАК-01“ ცენტრიდანულ კონცენტრატორზე. ცდების გასაშუალოებული შედეგები მოცემულია მე-2 ცხრილში.

ფლოტაციური კუდების გრავიტაციული მეთოდით გამდიდრების შედეგები

№	პროდუქტის დასახელება	გამოსავალი, %		შემცველობა %, გ/ტ		ამოკრეფა		საერთო ჯამი	
		ოპერაც.	საერთო	Cu	Au	Cu	Au	Cu	Au
1	გრავიტ. კონც.	7,61	7,42	1,56	5,29	61,1	71,95	21,43	31,65
2	კუდები	92,39	90,08	0,08	0,17	38,90	28,05	12,87	12,38
3	ფლოტაციური კუდები	100	97,5	0,19	0,56	100	100	34,30	44,03

ამრიგად, კუდების გრავიტაციული მეთოდით გამდიდრების შედეგად მიიღება გრავიტაციული კონცენტრატი გამოსავლით 7,42%, სპილენძის შემცველობით 1,56%, ოქროს შემცველობით 5,29 გ/ტ. ოქროს ამოკრეფა კონცენტრატში ოპერაციიდან შეადგენს 71,95%-ს, ხოლო საერთო ამოკრეფა 31,65%-ია.

გრავიტაციული კონცენტრატის მინერალოგიურმა შესწავლამ გვიჩვენა, რომ მადნეული მინერალები ძირითადად წარმოდგენილია პირიტით. სპილენძის მინერალებიდან გვხვდება ქალკოპირიტი და ქალკოზინი.

გამდიდრების შედეგად მიღებული გრავიტაციული კონცენტრატის გადამუშავებისას განისაზღვრება ორი მიმართულება:

- გრავიტაციული კონცენტრატის ფლოტაცია,
- გრავიტაციული კონცენტრატის ჰიდრომეტალურგიული გადამუშავება.

I. გრავიტაციული კონცენტრატის ფლოტაცია
ფლოტაციური მეთოდით გრავიტაციული კონცენტრატის გამდიდრებაზე კვლევები ჩატარდა კლასიკური სქემით: განისაზღვრა დაფქვის ოპტიმალური სისხო, რეაგენტის სახეობა და ხარჯი, საფლოტაციო პულპის pH-ის ოპტიმალური მნიშვნელობა, ფლოტაციის კინეტიკა, ფლოტაციის ციკლის სახეობა და რაოდენობა.

ცდების შედეგად დადგინდა ფლოტაციის ოპტიმალური ტექნოლოგია, დაფქვის ოპტიმალური სისხო 82–83%, კლასი – 0,074მმ, შემკრები რეაგენტები – ბუთილის ქსანტოგენატი და Aero-208 შესაბამისად ხარჯით 35 გ/ტ და 15 გ/ტ. ძირითადი, საკონტროლო და ორი გადაწმენდითი ფლოტაციით, პულპის pH – 12,6.

ოპტიმალურ პირობებში ჩატარებული ცდების შედეგები მოცემულია მე-3 ცხრილში.

გრავიტაციული კონცენტრატის ფლოტაციის შედეგები

№	პროდუქტის დასახელება	გამოსავალი, %	შემცველობა %, გ/ტ		ამოკრეფა	
			Cu	Au	Cu	Au
1	ფლოტაციური კონც.	0,61	10,3	30,71	11,6	15,11
2	ფლოტაციური კუდები	6,81	0,78	3,01	9,83	16,54
3	გრავიტ. კონც.	7,42	1,56	5,29	21,43	31,65

როგორც ცხრილიდან ჩანს, გრავიტაციული პროდუქტის ფლოტაციური მეთოდებით გამდიდრების შედეგად მიიღება სპილენძის არაკონდიციური კონცენტრატი სპილენძის შემცველობით 10,3%. დაბალია როგორც სპილენძის, ისე ოქროს ამოკრეფა.

II. გრავიტაციული კონცენტრატის ჰიდრომეტალურგიული გადამუშავება

გრავიტაციულ კონცენტრატზე სპილენძის შემ-

ცველობით 1,56% ოქროს შემცველობით 5,29გრ/ტ ჩატარდა კვლევები ჰიდრომეტალურგიული ტესტებით, სორბციულ რეჟიმში (CIL) სორბენტის ჩატვირთვის გარეშე.

ტესტის მიმდინარეობისას განისაზღვრებოდა ხსნარში NaCN-ის კონცენტრაცია, ჟანგბადის რაოდენობა და პულპის pH-ის მნიშვნელობა. გამოტუტვის პარამეტრები მოცემულია მე-4 ცხრილში.

ცხრილი 4

გრავიტაციული კონცენტრატის დაცვანების პარამეტრები

№	პარამეტრები	გაზომვის ერთეული	მნიშვნელობა
1	NaCN-ის კონც.	გ/ლ	0,23
2	პულპის pH	-	11-11,5
3	ხსნარში გახსნილი ჟანგბადის კონცენტრაცია	მგ/ლ	6,8
4	პულპის ტემპერატურა	°C	20
5	პულპაში მყარის შემცველობა	%	37
6	დაცვანების ხანგრძლივობა	სთ	48
7	სორბენტის სახეობა	-	აქტიური ნახშირი
8	სორბენტის რაოდენობა	გრ/ლ	18

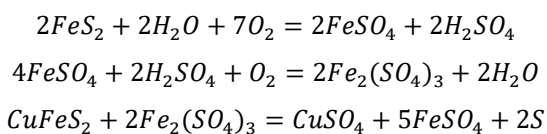
ტესტის ჩატარების შედეგად დადგინდა, რომ 24 საათის განმავლობაში დაცვანებისას (ბოთლის ტესტი) დარჩენილ კვში ოქროს რაოდენობა შეადგენდა 1,92 გ/ტ, საწყისში 5,29 გ/ტ. შესაბამისად, ოქროს ამოკრეფა შეადგენს 63,6%-ს, ციანიდის ხარჯი – 5,7–6,1 კგ/ტ.

დაცვანების პროცესში ოქროს მცირე ამოკრეფა – 63,6% და ციანიდის დიდი ხარჯი 5,7 – 6,1 კგ/ტ განპირობებულია გრავიტაციულ კონცენტრატში სპილენძისა და რკინის სულფიდების დიდი შემც-

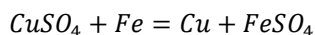
ველობით, შესაბამისად 1,56% და 5,6%, რომლებიც ციანიდებთან წარმოქმნის ციანიდის კომპლექსურ ნაერთებს და, შესაბამისად, იზრდება ციანიდის ხარჯი.

სპილენძისა და ოქროს სრულყოფილი ამოკრეფისთვის შესამუშავებელი ტექნოლოგიური სქემა ითვალისწინებს გრავიტაციული კონცენტრატის წინასწარ გამოტუტვას სპილენძისა და რკინის ხსნარში გადაყვანით და გამოტუტვის შედეგად მიღებული ნარჩენების დაცვანებას.

ჰიდრომეტალურგიული გადამუშავების პირველი ეტაპი ითვალისწინებს გრავიტაციული კონცენტრატის როფულ გამოტუტვას. კონცენტრატი დაიფქვა 0,04მმ-მდე. დაფქული მასა მოთავსდა ჭურჭელში მოცულობით 25 ლიტრი. პულპის სიმკვრივე – 12 %. პულპას დაემატა 2 გ/ლ გოგირდმჟავა ოზონისა და ჟანგბადის ნარევი – 85 გ/ლ და წყალბადის ზეჟანგი. პულპა ცხელდება 85°C-მდე. გამოტუტვის ხანგრძლივობაა 72 საათი. გამოსატუტ მასალაში პირიტის ფარდობა სპილენძის სულფიდებთან არის 10:1. პულპის pH-ის მნიშვნელობა 1,5–2-ია. გამოტუტვა მიმდინარეობს შემდეგი რეაქციით:



გამოტუტვის შედეგად ხსნარში სპილენძის იონების შემცველობა 15 გ/ლ შეადგენს. ქიმიური ანალიზით სპილენძის შემცველობა მასაში არის 0,91%, ხოლო გამოტუტვის შედეგად სპილენძის შემცველობაა 0,06%, ამოკრეფით – 93,5%.



ხსნარიდან სპილენძის იონების დალექვისათვის გამოყენებულ იქნა ფოროვანი რკინა ხარჯით 1 კგ სპილენძზე 1,7 კგ რკინა.

გამოტუტვის შედეგად დარჩენილი ნალექის გამოტუტვა (დაციანება)

გამოტუტვის შედეგად დარჩენილი ნალექის შემდეგი დამუშავებისთვის შედარების თვალსაზრისით გამოყენებული იყო ორი ვარიანტი:

ა) ნალექის დამუშავება კლასიკური სქემით – ციანირება ე.წ. ბოთლის ტესტი.

ბ) ნალექის დამუშავება თიოშარდოვანით, ასევე ბოთლის ტესტი.

ოქროს ნალექიდან გამოტუტვის ციანირების პროცესმა აჩვენა შემდეგი შედეგები: ოქროს ამოკრეფა – 92,1 %, კირის ხარჯი – 3,5-4,0 კგ/ტ; ციანიდის ხარჯი – 0,7-0,8 კგ/ტ.

მჟავე არეში თიოშარდოვანით გამოტუტვისას (Fe^{3+} და H_2SO_4 -ის თანაობისას) ოქროს ამოკრეფა შედარებით მაღალია – 95,0–95,3%. ამ ორი მეთოდის შედარება აჩვენებს, რომ ერთის მხრივ, მართალია თიოშარდოვანის გამოტუტვისას მიიღება 3,0–3,2% -ით ოქროს მაღალი ამოკრეფა, მაგრამ არაერთი ტექნოლოგიური და ეკოლოგიური პრობლემის გამო, მხედველობაში გვაქვს მჟავა არის გამოყენება აპარატურული გაფორმების თვალსაზრისით ადსორბცია/დესორბციის სირთულეები და თიოშარდოვანის საკმაოდ დიდი მდგრადობა დაშლისადმი, უპირატესობას ვანიჭებთ ციანიდების კლასიკურ ვარიანტს, ე.წ. CIL-ს.

დასკვნა

ამრიგად, მადნეულის სპილენძის მადნების მამდიდრებელი ფაბრიკის მიმდინარე კუდებიდან (სპილენძის შემცველობით 0,19%, ოქროს შემცველობით 0,56 გ/ტ), ოქროსა და სპილენძის დამატებითი ამოკრეფის მიზნით შემუშავებული და გამოცდილია კომბინირებული ტექნოლოგია, რომელიც ითვალისწინებს ფლოტაციური კუდების გრავიტაციულ გამდიდრებას ცენტრიდანული კონცენტრატორით. მიღებულია გრავიტაციული კონცენტრატი სპილენძისა და ოქროს შემცველობით, შესაბამისად 1,56%, 5,29 გ/ტ. სპილენძის ამოკრეფა კუდებიდან შეადგენს 61,1%-ს ოქროს ამოკ-

რეფა – 71,05%-ს. გრავიტაციული კონცენტრაციიდან სპილენძისა და ოქროს ამოკრეფის მიზნით გამოიყენება გადამუშავების სხვადასხვა მეთოდი. უპირატესობა მიენიჭა გრავიტაციული კონცენტრაციის გამოტუტვას სპილენძისა და რკინის სულფიდების ხსნარში გადაყვანით. ხსნარიდან სპილენძის იონების ამოკრეფა

გათვალისწინებულია ცემენტაციით, ხოლო გამოტუტვის შედეგად მიღებული კვების დაციანება ოქროს ამოკრეფის მიზნით. შემუშავებული ტექნოლოგიის განხორციელება საშუალებას გვაძლევს 15-20%-ით გავზარდოთ სპილენძის ამოკრეფა და 17-20%-ით – ოქროს ამოკრეფა.

ლიტერატურა

1. Bocharov, V.A.; Ignatkina, V.A.; Chanturia, E.A. (2016). Technology of complex processing of refractory pyrite ores. *Non-ferrous metals*, 9.
2. Buckley, A.N., Hope, G.A., Lee, K.C.; Petrovic, E.A. (2014). Ronald Woods Adsorption Of O-isopropyl-N-ethyl thionocarbonate On Cu Sulfide ore Minerals. *Minerals Engineering*, 69.
3. Alexandrova, T.N., Orlova, A.V., Taranov, V.A. (2019). Gravity-flotation beneficiation of gold-bearing ore. *Beneficiation of Non-ferrous Metal ores*, 3
4. Jikia, N., Sturua, R., Dalakishvili, Ts., Talakhadze, D. (2013). Development of the optimal technology for the processing of the stacked tailings of the Madneuli copper flotation plant. *Mining Journal*, 2(31).

UDC 622.72

SCOPUS CODE 2201

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2023-2-47-54>

Processing Questions of Madneuli Copper Enrichment Plant Tails

- Nana Jikia** Chemical-analytical Laboratory of Caucasus Mining Group, Georgia, 1100, Bolnisi, 2, Davit Aghmashenebeli Str.
E-mail: njikia@cmg.ge
- Demur Talakhadze** Department of Mining Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 75, M. Kostava Str.
E-mail: talaxadzedemur03@gtu.ge
- Anzor Abshilava** Department of Mining Technologies, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 75, M. Kostava Str.
Email: a.abshilava@gtu.ge

Reviewers:

R. Enageli, Professor, Faculty of Mining and Geology, GTU
E-mail: enageliroin03@gtu.ge

A. Gigineishvili, Professor, Faculty of Mining and Geology, GTU
E-mail: gigineishviliavtandil03@gtu.ge

Abstract. Madneuli copper enrichment plant works since 1975. This plant works on copper sulphide ores from Madneuli and Sakdrisi deposits. In some ores due to difficulties of blotting secondary copper sulphides, recovery of copper in commercial production is low – 60-65%. At the same time, concentration of copper in tails is 0.17-0.19% and concentration of gold in tails 0.3-0.6 gr/t. In this article we consider combine technology of processing rich flotation tiles: preinrichment by gravity (use centrifugal concentrator and/or short noise hydrocyclone). Gravity concentrate with au and cu 5.47 gr/t, and 0.93%, respectively proceed hydrometallurgically (cyanidation) this technology makes possible rise recovery of gold and copper in commercial product by 20-25% and 17-20%.

Keywords: basic flotation; content; flotation; flotation reagents; gravity concentrate; pulp pH.

განხილვის თარიღი 10.02.2023

შემოსვლის თარიღი 15.02.2023

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 29.05.2023