

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ხელნაწერის უფლებით

თამარ გურული

ჭიათურის საბადოს მანგანუმის შერეული მადნების გადამუშავების
კომბინირებული ტექნოლოგიის კვლევა

სადოქტორო პროგრამა: სამთო ტექნოლოგიები

შიფრი: 0724

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის
ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი
2026 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
სამთო-გეოლოგიური და მთის მდგრადი განვითარების ფაკულტეტი
სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი

ხელმძღვანელები: სტუ-ს ემერიტუსი, პროფესორი ზაურ არაბიძე
აკადემიური დოქტორი ნესტანი გეგია

რეცენზენტები: აკად. დოქტორი ნ. ლომიძე
აკად. დოქტორი მ. ბაღნაშვილი

დაცვა შედგება 2026 წლის "12" თებერვალი , 14:00 საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამთო-გეოლოგიური და მთის
მდგრადი განვითარების ფაკულტეტის სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის
კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი III, აუდიტორია 326.

მისამართი: 0160, თბილისი, კოსტავას77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი,
პროფესორი

დ.თევზაძე

შესავალი

საქართველოს ეკონომიკის მდგრადი განვითარების უზრუნველყოფაში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს სამთო-მოპოვებელი დარგის განვითარება. საქართველო გამოირჩევა სასარგებლო წიაღისეულის სახეობათა მრავალფეროვნებით. მიუხედავად იმისა, რომ ქვეყანაში არსებული საბადოები არ ხასიათდება განსაკუთრებული მასშტაბურობით, მათი რაციონალური და კომპლექსური გამოყენება მნიშვნელოვანწილად განაპირობებს ქვეყნის ეკონომიკურ წინსვლას.

საქართველოს სამთო-მოპოვებითი მრეწველობის განვითარების საქმეში განსაკუთრებული ადგილი უკავია მანგანუმის მოპოვებას, რომელიც ერთ-ერთი ყველაზე ხშირად გამოყენებადი ლითონია. ის ფართოდ გამოიყენება მეტალურგიაში, ელექტრომანქანების წარმოებაში, მედიცინასა და მრეწველობის სხვადასხვა დარგში.

ჭიათურის მანგანუმის საბადო მე-19 საუკუნის ბოლოდანაა ექსპლუატაციაში, თუმცა საბადოს ხანგრძლივი ექსპლუატაციის განმავლობაში იმის გამო, რომ ძირითადად მოიპოვებოდა მდიდარი - პეროქსიდული მადნები, რომელიც პირდაპირ, გადამუშავების გარეშე გადიოდა ექსპორტზე ევროპაში, შემდეგ კი ყოფილი საბჭოთა კავშირის მეტალურგიულ ქარხნებში, საბადოზე მკვეთრად შემცირდა მაღალხარისხოვანი მადნების ხვედრითი წილი. 2019 წლის მონაცემებით ჭიათურის მანგანუმის დათვლილი მთლიანი მარაგი 251 მილიონი ტონაა. დღეისათვის დარჩენილი პეროქსიდული მანგანუმის მადნების რაოდენობა ძალიან შემცირებულია და დაახლოებით 5-8 მილიონი ტონას შეადგენს, სამაგიეროდ დიდი რაოდენობით არის დაჟანგული, კარბონატული და ე.წ. შერეული მადნები, რომლებიც რთულად გასამდიდრებელია.

საქართველოს მანგანუმის მეტალურგიამ სრული დატვირთვით რომ იმუშაოს, გააჩნია დაახლოებით 50 წლის სამყოფი მარაგი. ჭიათურის მანგანუმის მადნის ამჟამინდელი მამდიდრებელი ფაბრიკების ტექნოლოგიური სქემები, რომელიც განკუთვნილია ადვილად

გამდიდრებადი მადნების გადამუშავებისთვის, ვერ უზრუნველყოფს მწელად გასამდიდრებელი მადნებიდან კონდიციური კონცენტრატების მიღებას.

ნაშრომის აქტუალობა. სადისერტაციო თემის აქტუალობას განაპირობებს მსოფლიოში მანგანუმზე მზარდი მოთხოვნილება და ფასების მკვეთრი ზრდა. სასარგებლო წიაღისეულის მოპოვება და გადამუშავება ქვეყნის ეკონომიკური პრიორიტეტია და ერთ-ერთი სტრატეგიული მიმართულებაა. მანგანუმის მდიდარი მადნების მარაგის შემცირების გამო, დღის წესრიგში დგება შერეული (ჟანგეულ-კარბონატული) მადნების გადამუშავების კომბინირებული ტექნოლოგიური სქემების შემუშავება, რომელიც უზრუნველყოფს ზემოთ ხსენებული მადნებიდან მაღალხარისხოვანი სასაქონლო პროდუქტის მიღებას, ხელს შეუწყობს საბადოს ექსპლუატაციის გახანგრძლივებას და ეკონომიკურ ეფექტთან ერთად, რეგიონისთვის სოციალური მნიშვნელობაც ექნება.

კვლევის მიზანი. ნაშრომის ძირითადი ამოცანაა ფაქტობრივი, საფონდო და ლიტერატურული მასალების შესწავლისა და ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევების საფუძველზე, შერეული (ჟანგეულ-კარბონატული) მადნების გამდიდრების ისეთი კომბინირებული ტექნოლოგიური სქემების შემუშავება, რომელიც უზრუნველყოფს მანგანუმის მაღალხარისხიანი სასაქონლო პროდუქციის მიღებასა და მორეცხვის შლამებიდან მანგანუმის გამოტუტვას დამჟანგველი ბაქტერიების გამოყენებით.

კვლევის ძირითადი ამოცანები

- მანგანუმის შერეული მადნების გამდიდრების ტექნოლოგიის თანამედროვე მდგომარეობის ანალიზის საფუძველზე განვითარების პერსპექტივების დადგენა;
- საკვლევი ობიექტის - დარკვეთის შერეული (ჟანგეულ-კარბონატული) მადნების პეტროგრაფიულ - მინერალოგიური შედგენილობის შესწავლა,;
- რენტგენოფაზური, ქიმიური და ფრაქციული ანალიზები;

- გრავიტაციული მეთოდით გამდიდრების შესაძლებლობის დადგენა მძიმე სითხეებში ფრაქციული ანალიზით;
- მანგანუმის გამდიდრების მოსამზადებელ ოპერაციაში შერჩევითი მსხვრევის გამოყენების შესაძლებლობის დადგენა;
- გამდიდრების მეთოდების შერჩევა, ტექნოლოგიური პარამეტრების დადგენა;
- მანგანუმის შერეული ჟანგულ-კარბონატული მადნების გამოწვის გავლენა გამდიდრების პროცესზე;
- კარბონატული და ჟანგული მონომინერალების თერმული დამუშავების მექანიზმის შესწავლა;
- დალექვის მდიდარი კუდებიდან ბიოტექნოლოგიური გადამუშავების საფუძველზე მანგანუმის გამოტუტვის შესაძლებლობის დადგენა და ტექნოლოგიური პარამეტრების შესწავლა;
- მორეცხვის შლამების გამდიდრების შესაძლებლობა ფლოტაციური მეთოდით;
- მანგანუმის შერეული მადნების გამდიდრების კომბინირებული ტექნოლოგიური სქემის დამუშავება.

კვლევის მეთოდთა. კვლევის პროცესში გამოყენებული იყო როგორც კლასიკური, ასევე თანამედროვე ფიზიკური და ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდები.

ჭიათურის შერეული (ჟანგულ-კარბონატული) მადნების მინერალოგიურ-პეტროგრაფიული შესწავლა განხორციელდა ბინოკულარული, სტერეოსკოპული და პოლარიზაციული ციფრული მიკროსკოპის OMAX 40X-600X გამოყენებით. რენტგენოფაზური ანალიზი განხორციელდა ДРОН-4 ტიპის რენტგენულ დიფრაქტომეტრზე. ქიმიური ანალიზები ჩატარდა გრავიმეტრიული და ტიტრიმეტრიული მეთოდების გამოყენებით.

შემუშავებული ტექნოლოგიური სქემა, რომელიც მოიცავს ოპერაციებს: სელექციურ მსხვრევას, მორეცხვას, თერმულ დამუშავებას, დალექვას, ფლოტაციას, ბაქტერიულ და ქიმიურ გამდიდრებას, მანგანუმის შერეული მადნების კომპლექსური გადამუშავების საშუალებას იძლევა.

სამუშაო შესრულდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამთო - გეოლოგიური და მთის მდგრადი განვითარების ფაკულტეტის სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტში და სსიპ თსუ-ის ალ. თვალჭრელიძის სახელობის მინერალური ნედლეულის კავკასიის ინსტიტუტში.

ნაშრომის მეცნიერული სიახლე. ჩატარებული კვლევების საფუძველზე ნაშრომში პირველად და დასაბუთებული და პრაქტიკულად განხორციელებული მანგანუმის შერეული მადნებიდან გამდიდრების პროცესში შერჩევითი დამსხვრევის ოპერაციის ჩართვა, რომელიც საშუალებას იძლევა, გაცხრილვით გამოიყოს კარბონატული კონცენტრატი, რაც მნიშვნელოვნად აადვილებს და აიაფებს მათი შემდგომი გადამუშავების ტექნოლოგიას.

შემუშავებულია მორეცხვის შლამებიდან დალექვით მიღებული კუდების ბიოტექნოლოგიური გადამუშავების ტექნოლოგია, რისთვისაც პირველად იქნა გამოყენებული დარკვეთის საბადოს შლამებიდან გამოყოფილი ბაქტერიული შტამები.

შემუშავებულია მანგანუმის შერეული მადნების გამდიდრების სრულიად ახალი, კომბინირებული ტექნოლოგიური სქემა, რომელიც ითვალისწინებს მასალის დეზინტეგრაციას როტორულ-ცენტრიდანულ სამსხვრეველაში; დამსხვრეული მასალის მორეცხვას - თიხებისა და შლამების მოსაცილებლად; კლასიფიკაციას; თერმული დამუშავების ოპტიმალური პარამეტრების დადგენასა და გამომწვარი მასალის მომზადებას გამდიდრების შემდგომი პროცესებისათვის; მორეცხვის შედეგად მიღებული შლამების გადამუშავებისას ბიოტექნოლოგიური და გრავიტაციული (ცენტრიდანული კონცენტრატორი) პროცესების გამოყენებას.

მანგანუმის კარბონატული და ჟანგეული მინერალების თერმული დისოციაციის მექანიზმის შესწავლის საფუძველზე შემუშავებულია მანგანუმის შერეული მადნების თერმული დამუშავების რეჟიმი.

კვლევის პრაქტიკული მნიშვნელობა და გამოყენების სფერო. დარკვეთის საბადოს ძნელად გასამდიდრებელი შერეული (ჟანგეულ-კარბონატული) მადნების გამდიდრების კომბინირებული ტექნოლოგიური სქემით მიღებული კონცენტრატები აკმაყოფილებს მეტალურგიული მანგანუმისა და კარბონატული კონცენტრატებისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს, ეს კი იმის წინაპირობაა, რომ მანგანუმის წარმოების პოტენციალი მნიშვნელოვნად გაიზრდება. ასევე, ბაქტერიული გადამუშავებით მიღებული მანგანუმის სულფატი ფართოდ გამოიყენება თანამედროვე ელექტრომობილების ბატარეებში, ხოლო მიღებული კუდების გამოყენება შესაძლებელია ცემენტის წარმოებაში, კლინკერის გამოწვისას ტემპერატურის დასაწევად. შემუშავებული ტექნოლოგიური სქემის განხორციელება მნიშვნელოვნად გააუმჯობესებს წარმოების ეკონომიკურ მაჩვენებლებს.

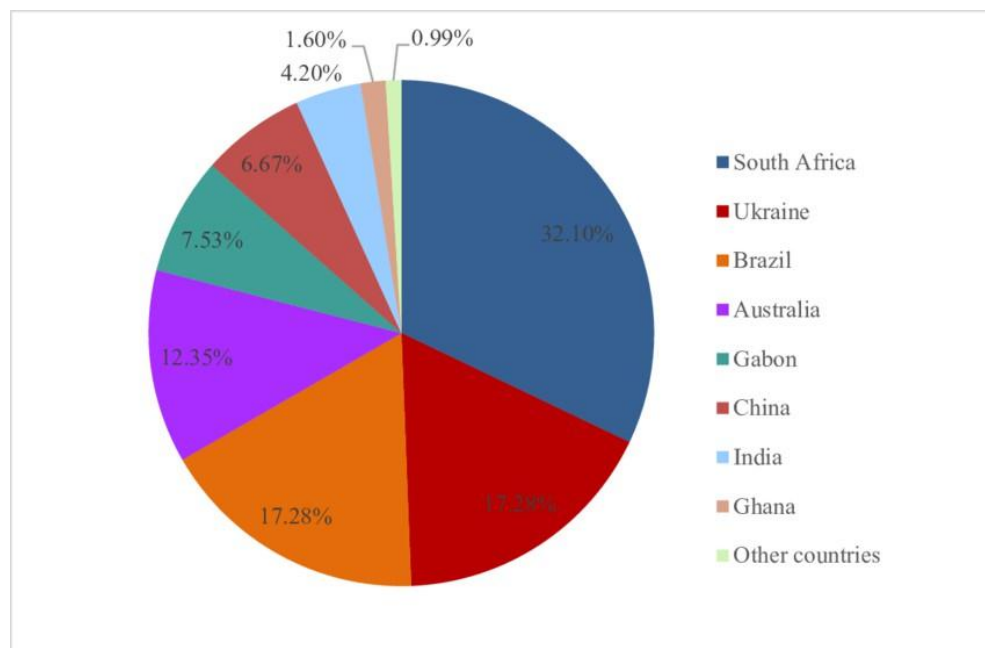
ნაშრომის სტრუქტურა და მნიშვნელობა

დისერტაცია შედგება შესავლის, 8 თავის და 100 ნაბეჭდი გვერდისგან. მას ერთვის 25 ცხრილი, 13 სურათი, 14 ნახაზი, 2 სქემა. გამოყენებული ლიტერატურის სია.

თავი 1. მანგანუმის მადნების გადამუშავების თანამედროვე მდგომარეობა

პირველი თავი შედგება ორი ქვეთავისაგან, რომელშიც განხილულია მანგანუმის მსოფლიო რესურსების მარაგები და გამოყენების სფეროები. თანამედროვე ტექნოლოგიებში მანგანუმის გამოყენებამ განაპირობა ავსტრალიაში, ამერიკის შეერთებულ შტატებში, კანადასა და იაპონიაში მისი კრიტიკულად აუცილებელ მინერალად აღიარება. კრიტიკულად აუცილებელი მინერალები სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანია გლობალური ეკონომიკის წარმატებისათვის, აქედან გამომდინარე მათი მიწოდების შეფერხებამ შეიძლება საფრთხე შეუქმნას მრეწველობის არაერთ დარგს.

მანგანუმის მადნის მთლიანი მსოფლიო რესურსი შეფასებულია დაახლოებით 16 მილიარდ ტონად, ხოლო მანგანუმის დადასტურებული მსოფლიო მარაგი არის დაახლოებით 4,5 მილიარდი ტონა. მხოლოდ კალაჰარის საბადოს რესურსი შეადგენს 9 მილიარდ ტონაზე მეტს 22-დან 45%-მდე მანგანუმის შემცველობით. კალაჰარი არის მანგანუმის უდიდესი საბადო მსოფლიოში. მანგანუმის მსოფლიო მარაგების წილი ქვეყნების მიხედვით 2019 წლისთვის ნაჩვენებია 1-ელ ნახაზზე.



სურათი 1. 2019 წლისათვის მანგანუმის მსოფლიო მარაგების დიაგრამა ქვეყნების მიხედვით

როგორც დიაგრამიდან ჩანს, მსოფლიოში მანგანუმის ყველაზე დიდი მარაგი (დაახლოებით 32%) სამხრეთ აფრიკას აქვს.

მანგანუმის მადნებისა და კონცენტრატების გამოყენების ძირითადი სფეროა შავი მეტალურგია, რომელიც მანგანუმის გლობალური მოხმარების დაახლოებით 90%-ს იყენებს, ასევე იგი გამოიყენება მშრალი ელექტრული ბატარეებისა და მინის წარმოებაში, კვების მრეწველობაში, მედიცინაში და სხვა.

გრძელვადიან პერსპექტივაში მანგანუმის მოხმარებაზე მნიშვნელოვან გავლენას მოახდენს გლობალური გადასვლა ეკოლოგიურად სუფთა ენერგო-ტექნოლოგიებზე: ენერგეტიკის საერთაშორისო სააგენტოს (IEA) პროგნოზის მიხედვით, 2040 წლისთვის ამ მიმართულებით მანგანუმზე მოთხოვნა სამჯერ გაიზრდება, ხოლო პროგრესული სცენარით - რვაჯერ.

თავი 2. ქიათურის მანგანუმის მრეწველობის განვითარება

მეორე თავი შედგება 3 ქვეთავისაგან, რომლებშიც განხილულია ქიათურის მანგანუმის მრეწველობის განვითარების მოკლე ისტორია და მადნების დახასიათება.

1846 წელს აკადემიკოსმა ჰერმან აბიხმა დეტალურად შეისწავლა ქიათურის მანგანუმის მადნების გეოლოგია და მინერალური შედგენილობა. ექსპლუატაციის ისტორია, დიდი მამულიშვილების - აკაკი წერეთლისა და გიორგი ნიკოლაძის სახელს უკავშირდება.

ქიათურის მანგანუმის საბადო მდებარეობს ქიათურის მუნიციპალიტეტის მიმდებარე ტერიტორიაზე, მდინარე ყვირილას ხეობაში. ის დანალექი წარმოშობისაა და წარმოიქმნა ზღვის წყალმარჩხ ადგილებში. ქიათურის მანგანუმის საბადოზე გამოყოფენ სამ ძირითადი ტიპის მადნებს: ჟანგულ, კარბონატულ და დაჟანგულს. მადნის ფენის

ზედა შრე შედგება კარბონატული და დაჟანგული, ფოროვანი მადნებისაგან, ხოლო ქვედა შრე - ჟანგეული მადნებისგან.

ჭიათურის მანგანუმის საბადოში გავრცელებული ძირითადი მადნეული მინერალები მოცემულია 1-ელ ცხრილში.

ცხრილი 1. ჭიათურის მანგანუმის საბადოს მინერალოგიური შედგენილობა

მანგანუმის მინერალების დასახელება	ქიმ. ფორმულა	ხვ. წონა	სიმაგრე	Mn-ის შემცველობა (%)
პიროლუზიტი	MnO ₂	4-5	4,2-4,5	63
ფსილომელანი	MnO ₂ MnO H ₂ O	5-6	4,1-4,3	45-60
მანგანიტი	Mn ₂ O ₃ H ₂ O	4,2-4,4	3-5,4	62,5
ბრაუნიტი	Mn ₂ O ₃	4,7-4,9	6-6,5	69,65
გაუსმანიტი	Mn ₃ O ₄	4,7-4,8	5-5,5	72
როდოხროზიტი	MnCO ₃	3,3-3,6	3,5-4,5	47,8
მანგანოკალციტი	(CaMn)CO ₃	2,6-2,9	3	20-25

თავი 3. მანგანუმის მადნების გამდიდრების თანამედროვე

მდგომარეობა

მესამე თავი შედგება ოთხი ქვეთავისაგან, სადაც განხილულია მანგანუმის მადნის გამდიდრების ძირითადი მეთოდები.

პეროქსიდული მადნების გადასამუშავებლად ძირითადად გამოიყენება გამდიდრების მეთოდები, როგორიცაა: მორეცხვა, გრავიტაცია, ელექტრომაგნიტური სეპარაცია და ფლოტაცია. ეს მეთოდები ეფუძნება მადნებში შლამების რაოდენობას, მინერალების სიმკვრივეებს შორის სხვაობას, მათ მაგნიტურ თვისებებს და შერჩეულ პირობებში რეაგენტებით მათი ზედაპირების დასველების უნარს. ბოლო პერიოდში, მანგანუმის მადნების გასამდიდრებლად ასევე გამოიყენება პირო და ჰიდრომეტალურგიული პროცესები.

კარბონატული მადნები, მრავალი სამეცნიერო კვლევითი სამუშაოების შედეგად დადგენილ იქნა კარბონატული მადნების გამდიდრების ტექნოლოგია. მანგანუმის კარბონატული მადნებისა და კონცენტრატების დეფოსფორიზაციისთვის ყველაზე მისაღებია გაუსმანიტური მეთოდი; მანგანუმის კარბონატული და ჟანგეული მინერალების 950-1000°C ტემპერატურაზე 60-90 წუთით გამოწვით ხდება მათი გადაყვანა ძნელად ხსნად გაუსმანიტში, რომლის განზავებული აზოტმჟავას ხსნარით დამუშავებისას ფოსფორი გადადის ხსნარში, ხოლო მანგანუმი რჩება უხსნად ნალექში.

დაჟანგული მადნები დაჟანგული მადნები ჭიათურის მანგანუმის აუზის თითქმის ყველა ზეგანზეა გავრცელებული, შედარებით დიდი რაოდენობითაა პასიეთისა და სარეკის ზეგნებზე.

ამ ტიპის მადნების გასამდიდრებლად რეკომენდებულია 5(3) - 0 მმ-მდე დამსხვრეული მასალის მაგნიტური სეპარაცია და დალექვა.

შერეული მადნების გამდიდრება, ჭიათურის მანგანუმშემცველი საბადოს 14 მეტრიანი სიმძლავრის ფენა წარმოდგენილია კარბონატული, ჟანგეული, დაჟანგული მადნებისა და ფუჭი ქანის შრეებით. მოპოვების მეთოდებიდან გამომდინარე, მანგანუმის მადნების სელექციური ამოღება შეუძლებელია. მამდიდრებელ ფაბრიკებს მიეწოდება სხვადასხვა ტიპის მადანი, რომლის გადამუშავება არსებული ტექნოლოგიით გართულებულია. კარბონატული და ჟანგეული მადნების ფიზიკურ - მექანიკური თვისებების იდენტურობის გამო მინერალების განცალკევება გაძნელებულია.

მრავალი კვლევითი სამუშაო ჩატარდა მანგანუმის შერეული მადნების ნივთიერი შედგენილობისა და ტექნოლოგიური თვისებების შესწავლის მიზნით. დადგინდა, რომ შერეულ (ჟანგეულ-კარბონატული) მადნებში კარბონატული მადნები ჭარბობს მსხვილ ფრაქციაში, ჟანგეული კი - წვრილში, რაც გამოწვეულია ჟანგეული და კარბონატული მინერალების

ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით. ჟანგეული მინერალები ნაკლებად მკვრივია და იშლება მოპოვების დროს.

თავი 4. ჭიათურის მანგანუმის შერეული მადნების

ტექნოლოგიური ტესტირება

თავი შედგება სამი ქვეთავისაგან, სადაც განხილულია საკვლევი მადნის ნივთიერი შედგენილობის შესწავლა მინერალოგიურ - პეტროგრაფიული, რენტგენოფაზური და ქიმიური (სილიკატური) ანალიზებით.

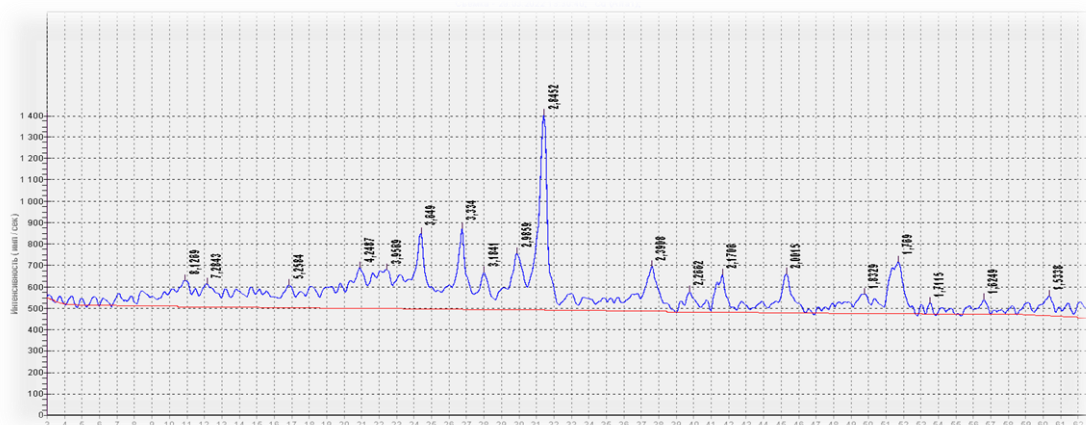
წარმოდგენილი სინჯიდან აღებული ნიმუშები, შედგენილობის და წარმოშობის მიხედვით დაკლასიფიცირდა სამ ტიპად.

- ✓ პირველი ტიპი: მანგანუმის კარბონატული მადანი როდოქროზიტ-მანგანოკალციის (ღია ნაცრისფერი) სახით.
- ✓ მეორე ტიპი: პირველადი ჟანგეული მადნები მინერალ - მანგანიტით, რომელიც უბნობრივად განიცდის დაჟანგვის შედეგად პიროლუზიტით ჩანაცვლების პროცესს.
- ✓ მესამე ტიპი: დაჟანგული მადნები, რომელიც წარმოდგენილია ოლითური სტრუქტურის მქონე პიროლუზიტ-პსილომელანით.

რენტგენოფაზური ანალიზი ჩატარდა DPOH-4 ტიპის დიფრაქტომეტრზე სპილენძის გაფილტრული გამოსხივებით. შედეგები მოცემულია მე-2 ცხრილში, ხოლო დიაგრამა მოცემულია მე-2 სურათზე.

ცხრილი 2. რენტგენოფაზური ანალიზის შედეგები

ნიმუშის დასახელება	ძირითადი შემადგენელი მინერალები
მანგანუმის შერეული მადანი	1. როდოქროზიტი MnCO_3 - 1,3649; 2,845; 2,39; 2,17; 2,00; 1,83; 1,76; 1,53 A° 2. მანგანოკალციტი $(\text{CaMn}) \text{CO}_3$ - 2,2985 A° 3. კვარცი (SiO_2) - 3,424; 3,334 A° 4. მანგანიტი (MnOOH) - 4.318 A°



სურათი 2. რენტგენოფაზური ანალიზის ამსახველი დიაგრამა

სინჯების ქიმიური (სილიკატური) ანალიზი ჩატარდა ანალიზის სველი მეთოდით. ანალიზის შედეგები წარმოდგენილია მე-3 ცხრილში.

ცხრილი 3. მადნის ქიმიური შედეგნილობა

შემცველობა, %												
ხურ. დანაკ	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Mn საერთო	MnO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
33,3	24,0	7,9	1,2	-	0,5	16,8	6,7	5,2	1,2	0,5	0,7	1,3

ქიმიური ანალიზის მონაცემების მიხედვით სინჯში MnO₂-ის შემცველობა არის 6,7 %, ხოლო შესაბამისად, კარბონატულ მინერალებში Mn-ის რაოდენობა 10,1%.

თავი 5. შერეული (ჟანგეულ- კარბონატული) მადნის

გამდიდრების კომბინირებული კვლევები

მე-5 თავში განხილულია მადნის სელექციური მსხვრევის შესაძლებლობები, დალექვა და თერმული დამუშავება.

სასარგებლო წიაღისეულის გამდიდრების ტექნოლოგიის, ტექნიკისა და ეკონომიკისათვის შერჩევითი მსხვრევის გამოყენებას დიდი მნიშვნელობა აქვს. შერჩევითი მსხვრევის დროს მცირდება დამსხვრევისა და დაფქვის პროცესებში ენერგიის ხარჯვის ხვედრითი წილი, რაც დამსხვრევის პროცესში უზრუნველყოფს დიდ ეკონომიკურ ეფექტს.

მადნების დამსხვრევის მაქსიმალური შერჩევითობისათვის ყველაზე ეფექტურია - ჩაქურებიანი, როტორულ-ცენტრიდანული, ჰავლური და ა. შ. დარტყმითი ზემოქმედების სამსხვრეველები. მამდიდრებელ ფაბრიკებში ასეთი ტიპის სამსხვრეველები წარმატებით გამოიყენება საზღვარგარეთ.

მანგანუმის ჟანგეული და კარბონატული მინერალების, ასევე ფუჭი ქანის ნატეხებს შორის სიმკვრივეების სხვაობა იძლევა შერჩევითი მსხვრევის გამოყენების საშუალებას.

ჩემს მიერ, საქართველოს მანგანუმის მადნებისათვის მოსამზადებელ პროცესში, პირველად გამოიცადა შერჩევითი მსხვრევა ლაბორატორიულ როტორულ-ცენტრიდანულ სამსხვრეველაზე, რომელშიც მასალის დაშლა ხდებოდა ნატეხების გატყორცნით მბრუნავი დისკოს საშუალებით. ნატეხი მბრუნავ დისკოზე მოხვედრისას იძენს მაღალ სიჩქარეს, გაიტყორცნება, დაეჯახება უძრავ ჯავშანს (ამსხლეტს) და იშლება, რაც ძირითადად მიმდინარეობს მინერალთა შეზრდის ადგილებში.

ჩატარდა როტორულ-ცენტრიდანულ სამსხვრეველაზე დამსხვრეული მანგანუმის მადნის გრანულომეტრიული ანალიზი. შედეგები წარმოდგენილია მე-4 ცხრილში.

ცხრილი 4. როტორულ-ცენტრიდანულ სამსხვრეველაზე დამსხვრეული მასალის გრანულომეტრული ანალიზის შედეგები

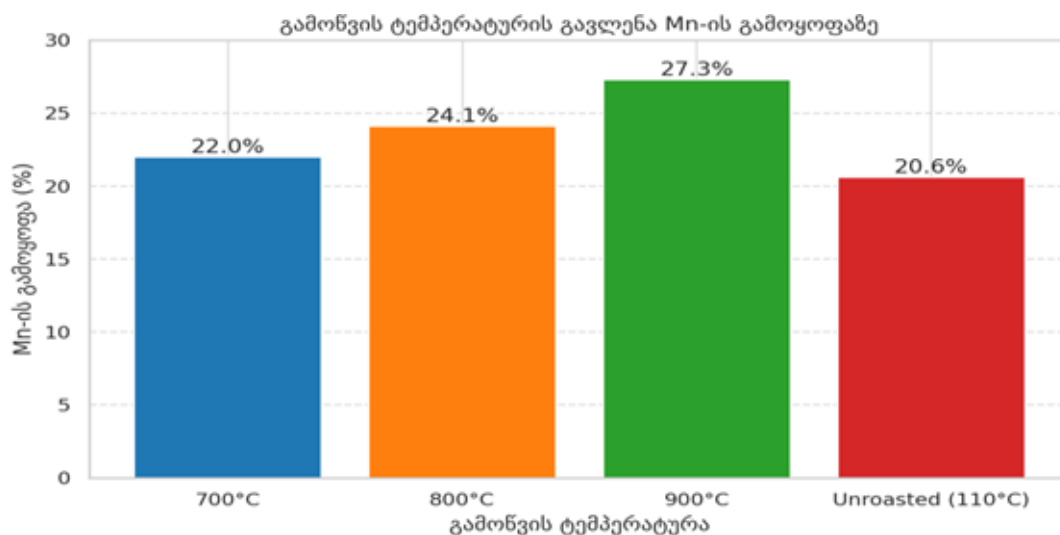
კლასები, მმ	მასური წილი, %	ჯამური მასური წილი, %	შემცველობა, %	ამოკრეფა, %
-10+5	20,5	20,5	21,2	25,8
-5,0+2,5	19,8	40,3	15,1	17,7
-2,5+1,25	12,2	52,5	16,3	11,8
-1,25+0,63	16,4	68,9	15,8	15,4
-0,63-0,315	12,3	81,2	15,0	11,0
-0,315+0,16	7,0	88,2	16,3	6,8
-0,16+0,08	5,1	93,3	16,9	5,1
-0,08+0	6,7	100,0	16,1	6,4
სულ	100,0	-	16,8	100,0

მე-4 ცხრილის მონაცემების მიხედვით მსხვილ კლასში (-10+5 მმ) მანგანუმის შემცველობა (21,2 %). აკმაყოფილებს მანგანუმის კარბონატული კონცენტრატებისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს (21 – 26 %).

წარმოდგენილი მანგანუმის ჟანგეულ-კარბონატული მადნის სინჯი ძირითადად შეიცავს მანგანუმის კარბონატულ მინერალებს, რომლებიც მაღალტემპერატურული გამოწვის შედეგად გადადის მანგანუმის ოქსიდურ ფორმაში. შესწავლილი იქნა ტემპერატურისა და გამოწვის ხანგრძლივობის გავლენა გამომწვარ პროდუქტში მანგანუმის შემცველობაზე.

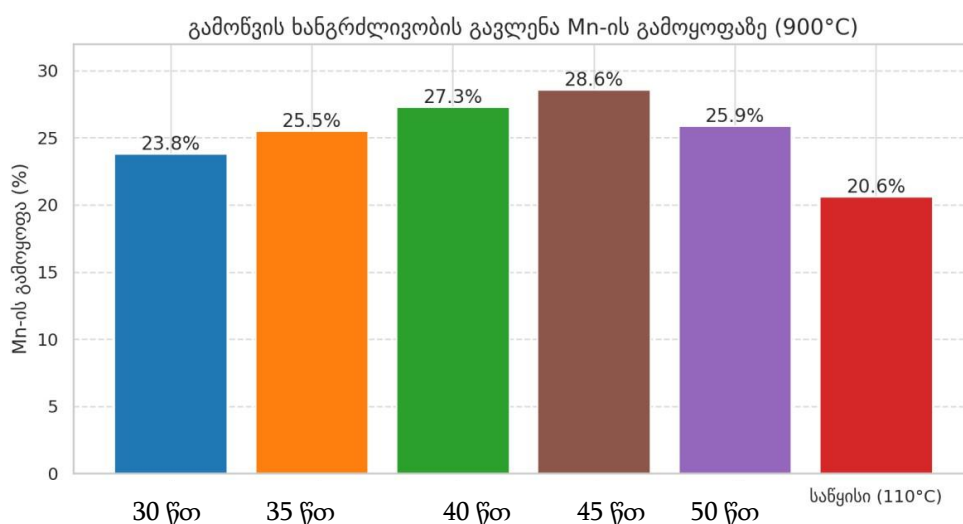
დარკვეთის საბადოს მანგანუმის შერეული (ჟანგეულ-კარბონატული) მადნის სინჯი ძირითადად შეიცავს მანგანუმის კარბონატულ მინერალებს, მაღალტემპერატურული გამოწვის შედეგად გადადის მანგანუმის ოქსიდურ ფორმაში. შესწავლილ იქნა გამოწვის ტემპერატურისა და ხანგრძლივობის გავლენა როდოქროზიტისა და მანგანოკალციტის სუფთა ნატეხებზე. ზეგავლენის შესწავლა ხდებოდა გამომწვარ პროდუქტში

მანგანუმის შემცველობის განსაზღვრით. გამოწვის ტემპერატურა იცვლებოდა 700 - 900 °C ფარგლებში, ხოლო დრო იყო მუდმივი - 40 წუთი. ტემპერატურის გავლენა გამომწვარ მასალაში მანგანუმის შემცველობაზე, ასახულია 1-ელ სქემაზე.



სქემა 1. გამოწვის ტემპერატურის გავლენა Mn-ს შემცველობაზე

მანგანუმის შემცველობაზე გამოწვის ხანგრძლივობის დასადგენად, აღებულ იქნა ოპტიმალური ტემპერატურა 900 °C, დროის ინტერვალი იცვლებოდა 30 წუთიდან 50 წუთამდე. გამოცდის შედეგები წარმოდგენილია მე-2 სქემაზე.



სქემა 2. გამოწვის ხანგრძლივობის გავლენა მანგანუმის შემცველობაზე

ექსპერიმენტის საფუძველზე დადგინდა, რომ 900°C ტემპერატურაზე 30-დან 45 წთ-მდე, გამოწვისას Mn-ის შემცველობა გამომწვარ პროდუქტში იზრდება 28,6%-მდე, ხოლო გამოწვის დროის შემდგომი ზრდა იწვევს Mn-ის შემცველობის შემცირებას გამომწვარ პროდუქტში, რაც შეიძლება გამოწვეული იყოს მადნის შეცხობით, გამოწვის პროცესში რთულად ხსნადი მანგანუმის სილიკატებისა და ფერიტების წარმოქმნით, რაც ხელს უშლის და ართულებს მანგანუმის შემდგომ ამოკრეფას.

900 °C ტემპერატურაზე გამომწვარი -2,5+0,16 მმ კლასის გამდიდრება ჩატარდა დალექვით დიაფრაგმულ ლაბორატორიულ სალექ მანქანაზე შემდეგ რეჟიმში პარამეტრები:

- საგების სისხო - 20-25 მმ;
- ამპლიტუდა - 12 მმ;
- რხევის სიხშირე - 150-200 რხევა/წთ;
- წყლის ხარჯი - 2-2,5 ლ/წთ.

შედეგები წარმოდგენილია მე-5 ცხრილში.

ცხრილი 5. დალექვით მიღებული გამომწვარი სინჯის ტექნოლოგიური მაჩვენებლები

პროდუქტი	განზომილება, %		
	ოპერაციიდან გამოსავალი	შემცველობა	ამოკრეფა
კონცენტრატი	42	43,7	87,6
კუდი	58	4,5	12,4
2,5+0,16 მმ	100,0	21,0	100,0

ცხრილის მონაცემების მიხედვით, გამომწვარი მასალის დალექვით შესაძლებელია მე-2 ხარისხის ჟანგეული კონცენტრატის მიღება 43,7 % შემცველობითა და 87,6 % ამოკრეფით.

თავი 6, 7, 8. ჭიათურის მანგანუმის არაკონდიციური
პროდუქტების (კუდები, შლამები) გამდიდრების მეთოდები და
ეკონომიკური ნაწილი

თავებში განხილულია არაკონდიციული პროდუქტების გამდიდრების შესაძლებლობები, რომელიც მოიცავს ფლოტაციური, გრავიტაციული (ცენტრიდანულ კონცენტრატორში) და ბიოტექნოლოგიური მეთოდებით გამდიდრებას.

მამდიდრებელ ფაბრიკებში მანგანუმის გამდიდრებისას წარმოიქმნება დიდი რაოდენობით წვრილმარცვლოვანი ფრაქცია, რომლის გამოსავალია 30-40%, მანგანუმის 13 %-მდე შემცველობით.

წმინდა ფრაქციიდან მანგანუმის ამოკრეფისათვის დამუშავებულია ბიოტექნოლოგიური, ფლოტაციური და სხვა მეთოდები, გამოკვლეულია მანგანუმის ფლოტაციური თვისებები. დადგინდა, რომ მაღალხარისხიანი ჟანგეული კონცენტრატის მიღება კოლექტიური ფლოტაციით არ არის შესაძლებელი.

მანგანუმის შერეული მადნების დაფქვისას ხდება ჟანგეული მინერალების გადაფქვა. აქედან გამომდინარე, აქტუალურია მსხვილმარცვლოვანი შლამების გამდიდრების ტექნოლოგიის შემუშავება.

მანგანუმის შერეული (ჟანგეულ-კარბონატული) მადნის კვლევითი სამუშაოები ჩატარდა ლაბორატორიული ტიპის ქაფიან სეპარატორზე. დადგინდა ფლოტორეაგენტების, საფლოტაციო არისა და ტემპერატურის გავლენა მანგანუმის შლამების გამდიდრებაზე.

კვლევის შედეგებმა აჩვენა, რომ პულპის ტემპერატურის გაზრდა აუმჯობესებს ქაფიანი სეპარაციის შედეგს, რაც აიხსნება ნედლი ტალის ზეთის საპნის უკეთ ხსნადობითა და მდგრადი ქაფის წარმოქმნით.

ექსპერიმენტით დადგინდა ქაფიანი სეპარაციის ოპტიმალური შედეგის მიღწევის ფლოტაციური პირობები და რეაგენტების ხარჯი:

- ✓ მასალის ზომა - ნაკლები 1 მმ- ზე;
- ✓ მყარი-თხევადი - 1: 2;

✓ ფლოტაციის დრო - 30 წთ.

აგიტაციის დრო და რეაგენტების ხარჯი:

✓ სოდა - 3 წთ;

✓ თხევადი მინა - 2 წთ;

✓ დისტილირებული ტალის ზეთი - 5 წთ;

✓ შემკრები (დისტილირებული ტალის ზეთის საპონი) - 2 კგ/ტ;

✓ თხევადი მინა 0,9 - 1 კგ/ტ;

✓ ნავთი - 0,2-0,3 კგ/ტ;

✓ სოდა - 0,5 -0,7კგ/ტ;

შედეგები მოცემულია მე-6 ცხრილში.

ცხრილი 6. ფლოტაციის შედეგები

პარამეტრები კონცენტრატული	γ, %	β, %	ε, %
კარბონატული	0,5	19,5	8,9
ჟანგეული	2,9	25,4	67,7
კუდები	8,2	3,1	23,4
საწყისი	11,6	9,5	100,0

ქაფიანი სეპარაციის შედეგად მივიღეთ მე-4 ხარისხის მეტალურგიული კონცენტრატი დაბალი შემცველობითა და ამოკრეფით, რომელიც ეკონომიკურად არარენტაბელურია. ამასთანავე პარალელურად ჩატარდა კონცენტრატორზე გამდიდრება, რომელიც პირველად ჩვენს მიერ იქნა გამოყენებული მანგანუმის არაკონდიციური მადნის გამდიდრებისათვის. იგი ძირითადად გამოიყენება ოქროს გასამდიდრებლად.

შესწავლილი იქნა მანგანუმის შლამების გამდიდრების შესაძლებლობა ცენტრიდანულ კონცენტრატორზე. ექსპერიმენტით დადგენილი იქნა გამაფხვიერებელი წყლის ხარჯი და G-ის სხვადასხვა მნიშვნელობისას

გამდიდრების ოპტიმალური მაჩვენებლები. ექსპერიმენტის შედეგები მოცემულია მე-7 ცხრილში.

ცხრილი 7. G- ს მნიშვნელობის გავლენა გამდიდრების მაჩვენებლებზე

პროდუქტის დასახელება	კონცენტრატორის პარამეტრები		პროდუქტის გამოსავალი, $\gamma\%$	პროდუქტებში სასარგებლო კომპონენტის შემცველობა β	ამოკრეფა $\varepsilon\%$
	წყლის ხარჯი, ლ/წთ	G			
კონცენტრატი	3,5	60	19,77	35,47	48
კუდი			80,23	9,46	52
შლამები			100	14,6	100
კონცენტრატი	3,5	70	23,5	38,6	62,2
კუდი			76,5	7,2	37,8
შლამები			100	14,6	100
კონცენტრატი	3,5	80	24,8	36,13	61,4
კუდი			75,2	7,49	38,6
შლამები			100	14,6	100

როგორც ცხრილიდან ჩანს კონცენტრატის G-ის მნიშვნელობის ზრდა პირდაპირპროპორციულია კონცენტრატის გამოსავლის ზრდასთან. Mn-ის ყველაზე მაღალი შემცველობა და ამოკრეფა დაფიქსირდა G-ის 70 მნიშვნელობის გამოყენების შემთხვევაში.

ჩატარებული ექსპერიმენტების ანალიზის საფუძველზე შეგვიძლია დავადგინოთ, რომ მანგანუმის შლამების გრავიტაციული მეთოდით გამდიდრებისას, ცენტრიდანული კონცენტრატორის გამაფხვიერებელი წყლის ხარჯია 3,5 ლ/წთ, ხოლო G-ის მნიშვნელობაა 70, რის შედეგადაც მიიღება კონცენტრატი მანგანუმის შემცველობით 38,6%, ამოკრეფით 62,2%.

ბოლო ხანებში მინერალური რესურსების გამოყენების ოპტიმიზაციისა და გარემოს დაცვასთან დაკავშირებულმა პრობლემებმა სამთო მომპოვებელ მრეწველობაში განაპირობა ისეთი მიმართულების განვითარება, რომლითაც შესაძლებელი იქნება როგორც ტექნოლოგიური,

ასევე გარემოს დაცვითი ამოცანების მოგვარება. ერთ-ერთია ბიოტექნოლოგიური მეთოდის დანერგვა, რომლის ძირითად მიმდინარეობად ითვლება ლითონთა ბაქტერიული გამოტუტვა. ბაქტერიული გამოტუტვა კუდებისა და შლამების ეფექტური გადამუშავების ერთ-ერთი ყველაზე პერსპექტიული მეთოდია.

მანგანუმის შლამების გადამუშავება საჭიროა როგორც გარემოს დაბინძურების პრევენციისთვის, ასევე Mn რესურსის პოტენციალის გასაზრდელად. აქედან გამომდინარე, ბიოტექნოლოგიური მეთოდით გამდიდრება, ეკოლოგიურად სუფთა და ეკონომიურად ეფექტური ალტერნატივაა მანგანუმის შლამების გამდიდრებისათვის.

მეთოდი ეფუძნება მიკროორგანიზმების მეტაბოლურ უნარს, გარდაქმნან ლითონების იონური ფორმები წყალში ხსნად ნაერთებად. ასეთი პროცესები იძლევა საშუალებას, ნარჩენებიდან მაქსიმალურად ამოიკრიფოს სასარგებლო კომპონენტი, გარემოზე ეკოლოგიური ზიანის მნიშვნელოვანი შემცირებით.

აქტიური შტამის შერჩევა განხორციელდა მანგანუმის მადნების ბაქტერიული გამოტუტვის გზით რკინის სულფიდის დაჟანგვის სიჩქარის მიხედვით.

ექსპერიმენტისათვის საბადოდან გამოვყავით Th. Ferrooxidans შტამები, რომელიც ხასიათდება მანგანუმის გამოტუტვის მაღალი უნარით. შედეგები წარმოდგენილია მე-8 ცხრილში.

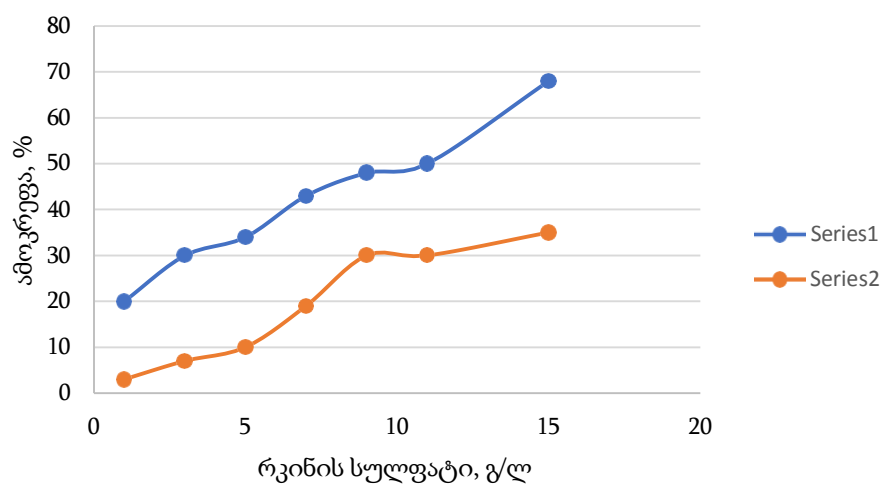
ცხრილი 1. ადგილობრივი საბადოდან გამოყოფილი Th. Ferrooxidans - ის გამოცდის შედეგები

შტამის №	ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები						მანგანუმის შემცველობა (10 დღის შემდეგ)			
	ექსპერიმენტის დასაწყისი			ექსპერიმენტის დასასრული (10 დღე)			არევის გარეშე		არევის პირობებში	
	pH	Eh, mv	rh ₂	pH	Eh, mv	rh ₂	გ/ლ	%	გ/ლ	%
1	2.5	608	26.5	3.9	556	26.9	1.2	41.5	1.36	45.8
2	-	-	-	3.2	560	25.5	1.2	41.5	1.37	45.9
3	-	604	26.1	3.2	500	25.6	1.27	42.6	1.36	45.8
4	-	-	-	3.8	556	26.9	1.28	42.8	1.41	47.3
5	-	-	-	3.8	556	26.9	1.3	43.4	1.38	46.2
6	-	-	-	3.2	560	25.5	1.2	40.3	1.27	42.4
7	-	608	26.5	3.3	575	26.4	1.15	38.5	1.24	41.6

მე-8 ცხრილის მონაცემების მიხედვით, არევის გარეშე მიკროორგანიზმების ზემოქმედების შედეგად 10 დღის შემდეგ ხსნარში გადავიდა 43,4% მანგანუმი, ხოლო არევის პირობებში - 47,3 %.

ბაქტერიულ გამოტუტვაზე სულფატური ნაერთების გავლენის შესწავლის მიზნით, შლამების გამოტუტვის პროცესში Th. Ferrooxidans-თან ერთად გამოვიყენეთ რკინის სულფატი 1; 3; 5; 7; 9; 11; 15 გ/ლ ოდენობით. მყარისა და თხევადის თანაფარდობა იყო 1:40, pH-ის მნიშვნელობა - 2,8, რომლის შენარჩუნებაც ხდებოდა გოგირდმჟავას ხსნარის დამატებით. პარალელურად ჩატარდა - რკინის სულფატის გარეშე ბაქტერიული გამოტუტვის საკონტროლო ექსპერიმენტი.

მიღებული შედეგები წარმოდგენილია მე-3 სქემაზე.



სქემა 3. სულფატური ნაერთების გავლენის შედარებითი დიაგრამა

დიაგრამების მიხედვით ბაქტერიული გამოტუტვის პროცესის ინტენსიურობა იზრდება FeSO_4 – ის 15 გ/ლ დამატებით (ლურჯი ფერი). პროცესი მიმდინარეობს $\text{pH} = 2,8$ -ზე. გამოტუტვის ტემპერატურაა 28°C .

მინერალების დაჟანგვა ქიმიური პროცესია, რომელიც ხორციელდება სამვალენტო რკინის სულფატის მეშვეობით. მე-20 საუკუნის მეორე ნახევრიდან შესწავლილ იქნა მიკროორგანიზმის - Th. Ferrooxidans-ის მიერ მჟავა არეში ორვალენტო რკინის დაჟანგვის სტიმულირების უნარი. ბაქტერიების როლი ხსნარში გადასული ორვალენტო რკინისა და გოგირდის დაჟანგვაა.

რკინის სულფატი არის ძვირადღირებული რეაგენტი. მანგანუმის ბაქტერიული გამოტუტვის პროცესის გაიაფების მიზნით გამოყენებულ იქნა მადნეულის სამთო გადამამუშავებელი კომბინატის კუდსაცავის პირიტული ნარჩენი. კვლევის შედეგები მოყვანილია მე-9 ცხრილში.

ცხრილი 9. პირიტის კონცენტრატის დამატებით ბაქტერიული გამოტუტვის შედეგები

მანგანუმის შლამებისა და პირიტის თანაფარდობა	ხსნარის ფიზიკურ- მექანიკური მახასიათებლები ექსპერიმენტის დასრულებისას			მანგანუმის გამოტუტვის დინამიკა, %		
	pH	Eh, mB	rh ₂	5 დღის შემდეგ	10 დღის შემდეგ	15 დღის შემდეგ
10/1	4,4	375	21,0	18,5	37,3	70,9
10/2	4,3	370	21,0	19,7	40,5	75,0
10/3	3,4	360	21,5	22,0	42,9	80,1
10/4	3,1	350	22,6	27,7	44,6	89,3
10/5	3,0	350	18,4	27,8	44,8	89,0

მე-9 ცხრილიდან ჩანს, რომ შლამისა და პირიტული კონცენტრატის 10:4 და 10:5 შეფარდებისას 15 დღის შემდეგ მანგანუმის ბაქტერიული გამოტუტვა 89,0 და 89,3 %-ია. პირიტის რაოდენობის შემდგომი ზრდა შედეგს არ იძლევა.

საბოლოოდ მიიღება ბაქტერიული გამოტუტვის პროდუქტები, მანგანუმის სულფატი (ხსნარის სახით) β_{Mn} 24,3გ/ლ და კუდი რკინის ჟანგის ჰიდრატი (ნალექის სახით) $Fe(OH)_3$.

ექსპერიმენტების საფუძველზე შემუშავებულია შერეული მადნების გამდიდრების სრულიად ახალი კომბინირებული ტექნოლოგიური სქემა, რომელიც აკმაყოფილებს მეტალურგიული და კარბონატული კონცენტრატებისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს. ბაქტერიული გადამუშავებით მიღებული მანგანუმის სულფატი ფართოდ გამოიყენება თანამედროვე ელექტრომობილების ბატარეებში.

ასევე მნიშვნელოვანია ეკონომიკური ნაწილი, ჩვენ მიერ შეთავაზებული ტექნოლოგიური სქემის გათვალისწინებით წლიური მოგება, შესაძლებელია დაახლოებით 13 708 800 \$ - ის ფარგლებში.

დასკვნები

1. დარკვეთის შერეული (ჟანგეულ-კარბონატული) მადნის სინჯების პეტროგრაფიულ-მინერალოგიური ანალიზების შედეგებით დადგენილია, რომ სინჯი წარმოდგენილია როგორც მასიური ტექსტურის მანგანუმის მადნით, ისე ოლითური ტექსტურის სახესხვაობებით. ნიმუშები, შედგენილობისა და წარმოშობის მიხედვით კლასიფიცირდება სამ ტიპად: მანგანუმის კარბონატულ მადნადან (როდოქროზიტი, მანგანოკალციტი); პირველად ჟანგეულ მადნად (მანგანიტი) და დაჟანგულ მადნებად, რომელიც წარმოდგენილია ოლითური სტრუქტურის მქონე პიროლუზიტ-პსილომელანით;
2. რენტგენოგრაფიული ანალიზებით დადგინდა, რომ სინჯში მანგანუმის შემადგენელი მინერალებია: როდოქროზიტი, მანგანოკალციტი, მანგანიტი, ხოლო ფუჭი ქანი ძირითადად წარმოდგენილია კვარცით;
3. ქიმიური ანალიზის მონაცემების მიხედვით მანგანუმის საერთო შემცველობა სინჯში არის 17,5%; აქედან ჟანგეული მინერალებია - 6,7 %, ხოლო კარბონატული მინერალები - 10,8 %;
4. ჩატარებული ცდების საფუძველზე დადგინდა, შერჩევითი მსხვრევის უპირატესობა მანგანუმის შერეული (ჟანგეულ-კარბონატული) მადნების გამდიდრებისთვის. ქანების დამსხვრევას, ყებებიან სამსხვრეველასთან შედარებით, შენაზარდების გაყოფის უფრო მაღალ ხარისხს უზრუნველყოფს როტორულ-ცენტრიდანული სამსხვრეველა;
5. როტორულ-ცენტრიდანულ სამსხვრეველაზე დამსხვრეულ მასალაში მსხვილი კლასი -10+5 მმ, რომლის გამოსავალი - 20,5 % -ია, მანგანუმის კარბონატული კონცენტრატია (შემცველობა- 21,2 %, ამოკრეფა - 25,8 %);
6. კვლევების საფუძველზე მანგანუმის გამდიდრების სქემაში, მავნე მინარევებისა და თიხური ფრაქციის მოსაშორებლად ჩართული იქნა

- ორი ოპერაცია - მორეცხვა და დალექვა. მორეცხვა უზრუნველყოფს თიხით შეკავშირებული სასარგებლო კომპონენტისა და ფუჭი ქანის მინერალების დაყოფას, ხოლო დალექვა ფუჭი - ქანის მოშორებას;
7. დამჟანგველი გამოწვა ცნობილი პროცესებისგან განსხვავებით, ჩვენს მიერ პირველად განხორციელდა ორთქლ-ჰაეროვან პირობებში;
 8. შესწავლილი და დადგენილია თერმული დამუშავების პროცესებზე სხვადასხვა ფაქტორის გავლენა. დადგინდა ოპტიმალურ პირობებში თერმულად დამუშავების პროცესის გავლენა შერეული მადნების გამდიდრების ტექნოლოგიაზე;
 9. გამომწვარი მადნის დალექვით შესაძლებელი გახდა მიგველო მე-2 ხარისხის ჟანგეული კონცენტრატი 42,0 % მანგანუმის შემცველობით;
 10. პირველად გამდიდრების შედეგად მიღებული არაკონდიციური კუდების გადამუშავება განხორციელდა ბიოტექნოლოგიური მეთოდით;
 11. ჭიათურის მანგანუმის საბადოდან გამოყოფილი იქნა Th. Ferrooxsidansის შტამები, რომლებიც ხასიათდებიან მანგანუმის გამოტუტვის მაღალი უნარით;
 12. დადგენილ იქნა რკინის სულფატის ნაერთების გავლენა ბაქტერიული გამოტუტვის პროცესზე. რკინის სულფატის 15 გ/ლ დამატებისას იზრდება გამოტუტვის პროცესის ინტენსიურობა. რკინის სულფატის მისაღებად გამოყენებული იქნა მადნეულის კუდსაცავის პირითული ნარჩენი;
 13. დადგენილ იქნა შლამისა და პირიტის თანაფარდობა, რომელიც შეადგენს 10:4; 15 დღის შემდეგ ფილტრატში გადადის 24,3 გ/ლ მანგანუმის სულფატი და ნალექი რკინის ჰიდროქსიდის სახით;
 14. ექსპერიმენტით დადგინდა, რომ შესაძლებელია მანგანუმის მადნის მორეცხვის შედეგად წარმოქმნილი მსხვილფრაქციული მასალის გამდიდრება დალექვით;

15. ტექნოლოგიურ პროცესში გამოყოფილი შლამების ქაფიანი სეპარაციით გამდიდრების შედეგად მიღებულ იქნა მე-4 ხარისხის მეტალურგიული კონცენტრატი მანგანუმის დაბალი შემცველობითა და ამოკრეფით, რომელიც წარმოადგენს არაკონდიციურ პროდუქტს
16. პირველად მანგანუმის მადნების წვრილმარცვლოვანი ფრაქციის გასამდიდრებლად გამოყენებული ცენტრიდანული კონცენტრატორის საშუალებით მიღებულ იქნა მე-3 ხარისხის მეტალურგიული კონცენტრატი Mn- ის შემცველობით 38,6 %.
17. კვლევების შედეგად ჭიათურის შერეული (ჟანგეულ-კარბონატული) მადნებისათვის შემუშავებული და რეკომენდებულია გამდიდრების კომბინირებული ტექნოლოგიის სქემა, რომელიც სრულად აკმაყოფილებს ღნიშნული მადნების ეფექტურ გამდიდრებას

აპრობაცია

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი საკითხები გაშუქებულია საქართველოს მინერალური საზოგადოების ყოველწლიურ საერთაშორისო სამეცნიერო პრაქტიკულ კონფერენციაზე „სამთო საქმისა და გეოლოგიის განვითარება ეკონომიკის აღორძინების წინაპირობაა“; ბაქოში, მე-9 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე. „ახალგაზრდა მეცნიერეთა და სტუდენტთა კონფერენცია“. თემატურ სემინარებზე კოლოქვიუმების სახით.

პუბლიკაციები

1. თ. გურული, „ჭიათურის მანგანუმის შერეული მადნების დახასიათება“, მეცნიერება და ტექნოლოგიები, №1 (741), თბილისი, 2023 წ., გვ.48-52;
2. T. Guruli, M. Makadze. "The impact of waste produced as a result of the beneficiation of Chiatura manganese ore on the ecosystem" 9th International Scientific Conference of Young scientists & Students. Book of abstracts. Baku, Azerbaijan, 2023, p. 60-61;
3. დ. ტალახაძე, ა. აბშილავა, დ.თევზაძე, ნ. დოლიძე, ნ. ლულუნიშვილი, თ. გურული. „ჭიათურის მანგანუმის წვრილმარცვლოვანი ფრაქციის გადამუშავების ტექნოლოგიის შემუშავება“, ქართველი მეცნიერები. ტ.7 №1, 2025წ., გვ.483-490, <https://journals.4science.ge/index.php/GS/article/view/3511>;
4. ზ. არაბიძე, ნ. გეგია. თ. გურული. „ჭიათურის მანგანუმის შერეული (ჟანგეულ-კარბონატული) მადნის კომბინირებული ტექნოლოგიური კვლევა“, სტუ, საქართველოს საინჟინრო სიახლენი. №2 ტ.103. 2025წ. გვ. 57-62;
5. T. Guruli, "Characterization of oxide-Carbonate ore of Chiatura deposit" Mineralogical society of Georgia G. Tsulukidze mining institute Georgian Technikal university institute of hydrogeology and engineering geology "8th International Scientific-Practical Conference on Up-to -date Problems of Mining and Geology" book of Abstracts, Tbilisi, 2022, p.38 – 40.

ABSTRACT

Research on a Combined Processing Technology for Mixed Manganese Ores of the Chiatura Deposit.

In the dissertation entitled „Research on a Combined Processing Technology for Mixed Manganese Ores of the Chiatura Deposit“ it is stated that manganese is a multi-purpose raw material used in ferrous metal industry for the production of alloyed steels, as well as in the manufacture of electric vehicle batteries. Manganese is an important alloying element in non-ferrous metallurgy; it is also used as a coloring agent in glass and ceramics, as an additive in animal feed and for other purposes. The growing application of manganese in modern technologies has resulted in its classification as a critically important mineral. Critically essential minerals are vital for the well-being of the global economy

In Georgia, the main raw material for manganese production is the Chiatura manganese deposits. Owing to the depletion of high-grade oxidized ore reserves, the processing of low-grade oxidized-carbonate ores is becoming increasingly important.

Mineralogical-petrographic analysis of samples from Darkveti mixed (oxidized-carbonate) ore indicated that the samples are represented both as massive-textured manganese ore and in oolitic forms exhibiting variability. Based on composition and origin, the samples were classified into three types: carbonate manganese ore (rhodochrosite, manganocalcite); primary oxidized ore (manganite); and oxidized ores, represented by oolitic pyrolusite-psilomelane.

According to X-ray phase and chemical analyses, the total manganese content in the sample is 17.5%, of which 6.7% is from oxidized minerals and 10.8% from carbonate minerals. The gangue is predominantly represented by quartz

The enrichment of mixed (oxidized-carbonate) manganese ores is highly difficult, since the minerals exhibit transitional morphostructures among themselves; Their physico-chemical properties are very similar to each other, whereas selective separation requires a pronounced difference in physico-chemical properties; For their processing, it is necessary to develop a technology that combines special methods of beneficiation of useful minerals.

Based on the results of technological testing, for the preparatory operation of beneficiation of Darkveti mixed (oxide-carbonate) ore, the use of selective crushing is recommended, carried out in a rotor-centrifugal crushing unit. During selective crushing, the specific consumption of electrical energy is reduced, which results in a significant economic effect. Additionally, the liberation of minerals from the gangue is observed. After screening the crushed material, the -10 +5 mm size fraction is a carbonate concentrate, with a yield of -20.5% and a grade of 21.2%. To remove gangue from the -5 +2.5 mm fraction, gravity separation was carried out using a diaphragm jig. A rough concentrate was obtained with a manganese content of 19.7%. To obtain a marketable (saleable) concentrate, a thermal method was developed. The influence of various factors on the thermal treatment processes was studied and determined. The effect of thermally treated material under optimal conditions on the beneficiation processes of mixed ores has been determined. By gravity separation of the roasted ore, a second-grade oxide

concentrate was obtained. The rich tailings from the first and second gravity separation stages were ground to -0.16 mm and subjected to biotechnological beneficiation (bacterial leaching). As a result, an MnSO_4 solution and residual tailings were obtained.

From the $-2.5 +0$ mm fraction, a washing operation was incorporated into the flowsheet to remove fine dispersed clay impurities. The washed material was treated in a diaphragm jig, resulting in a second-grade oxide concentrate, while the tailings were ground and, together with the slimes, processed using the flotation beneficiation method (froth separation). By this method, a fourth-grade concentrate with low manganese content was obtained. In parallel with flotation, the same products were processed in a concentrator, which was applied for the first time to manganese ores. As a result, a third-grade fine-dispersed metallurgical concentrate and tailings were obtained.

The developed rational technological scheme for the beneficiation of mixed (oxide-carbonate) manganese ore includes the following operations: selective crushing of the feed material, gravity separation, washing, thermal treatment, bacterial leaching, and separation in a concentrator. Using this technological scheme, the following types of marketable products are obtained: Carbonate concentrate ($\gamma = 20.5\%$, $\beta = 21.2\%$); Second-grade oxide concentrate ($\gamma = 2.3\%$, $\beta = 42.0\%$); Fourth-grade oxide concentrate ($\gamma = 14.1\%$, $\beta = 33.9\%$); Heavy fraction from the concentrator ($\gamma = 10.7\%$, $\beta = 38.6\%$), which is a third-grade oxide concentrate and tailings, which can be used for saleable solutions; As a result of bacterial leaching, a 24.3 g/L MnSO_4 solution and tailings composed of quartz and iron hydroxide are obtained, which can be used as an additive in clinker firing to reduce the temperature.