

ანა ბერეჟიანი

რეციკლირება როგორც მადნეულის სამთო-  
გამამდიდრებელი კომბინატის მჟავა კარიერული  
წყლების გაწმენდის ტექნოლოგიის განხორციელების  
საშუალება

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა - ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერია  
შიფრი - 0410

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
თბილისი, 0175, საქართველო  
ივლისი, 2017 წელი

## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

### ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავაცანით ანა ბერეჟიანის მიერ შესრულებულ სადოქტორო ნაშრომს დასახელებით: „რეციკლირება როგორც მადნეულის სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატის მჟავა კარიერული წყლების გაწმენდის ტექნოლოგიის განხორციელების საშუალება“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის საგამოცდო კომისიაში მის განხილვას მეცნიერების დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

2017

ხელმძღვანელები:

პროფ. შალვა ანდლულაძე

პროფ. გიორგი მჭედლიშვილი

რეცენზენტი: -----

რეცენზენტი: -----

რეცენზენტი: -----

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2017 წელი

ავტორი: ბერეჟიანი ანა

დასახელება: რეციკლირება როგორც მადნეულის სამთო-  
გამამდიდრებელი კომბინატის მჭავა კარიერული  
წყლების გაწმენდის ტექნოლოგიის განხორციელების  
საშუალება

ფაკულტეტი: ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის  
ფაკულტეტი

აკადემიური ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა:

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ  
ზემომოყვანილი დასახელების ნაშრომის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის  
შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და  
გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ  
უნივერსიტეტს.

---

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც  
მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან  
სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი  
ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო  
უფლებებით დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა  
ის მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ  
მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია  
სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს  
პასუხისმგებლობას.

## reziume

სასარგებლო წიაღისელის აღმოჩენისა და გადამუშავების დროს მძიმე მეტალებით დაბინძურებული კარიერული წყლების წარმოქმნა წარმოადგენს გარემოზე დამლუპველი ზეგავლენის მქონე ერთერთ ფაქტორს. სპილენძისა და პოლიმეტალების საბადოების ღია დამუშავება დაკავშირებულია მყავა კარიერული წყლების წარმოქმნასა და მისი სპილენძის, თუთიის, ტყვიის, კადმიუმის და სხვა მეტალების იონებით დაბინძურებასთან.

მძიმე ლითონებით დაბინძურებული წყლების ჩაშვებით გამოწვეული ეკოლოგიური პრობლემები განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, რადგანაც ადამიანის ჯანმრთელობაზე მათი მავნე მოქმედება ხასიათდება ხანგრძლივი შედეგებით. ცხადია, მძიმე ლითონებით დაბინძურებული წყლები ეკოლოგიურად საშიშია, იგი გამოუსადეგარი ხდება სარწყავად, სათევზე მეურნეობისათვის, სოფლის მეურნეობისათვის და ა.შ.

მძიმე მეტალების იონებით გარემოს დაბინძურების პრობლემა დგას მადნეულის სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატის წინაშე. იგი წარმოადგენს საქართველოს ერთ-ერთ უმსხვილეს საწარმოს. მსოფლიო ბაზარზე კომბინატის პროდუქციისადმი გაზრდილ მოთხოვნილებას საფუძვლად უდევს მის მიერ წარმოებულ სპილენძის კონცენტრატში დარიშხანის ფაქტიური არარსებობა.

მადნეულის საბადოს ბარიტოპოლიმეტალური მადნის ქანების გადამუშავებისას წარმოქმნილი მყავა კარიერული წყლები თავისი შედგენილობით მიეკუთვნებიან სულფატური კლასის მარილოვან წყლებს და მათი დებიტი და შედგენილობა წელიწადის დროზე დამოკიდებულებით მერყეობს ფართო საზღვრებში. მათ ფორმირებაზე ბუნებრივ გავლენას ახდენს ატმოსფერული ნალექები, ტემპერატურა, აორთქლება, მადნიდან მეტალების ბუნებრივი გამოტუტვის სიჩქარე, კატიონური მიმოცვლა და რიგი სხვა ფაქტორებისა.

მუდმივად წარმოქმნადი კარიერული ნაკადების ხარისხობრივ და თვისობრივ შედგენილობაზე წლიური დაკვირვება ნებას გვაძლევს მოცემულ წყლებს მივცეთ მეორადი ტექნოგენური ჰიდრომინერალური რესურსების კლასიფიკაცია, რომელთა გადამუშავება (გაწმენდა) საშუალებას მოგვცემს შევამციროთ ფერადი მეტალების შეუქცევადი დანაკარგები, შემცირდეს გარემომცველი გარემოს დაბინძურება როგორც თხევადი, ასევე მყარი ნარჩენებით.

სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს სპილენძშემცველი ტექნოგენური რესურსების გადამუშავებისას წარმოქმნილი მყავა კარიერული წყლების გაწმენდა მძიმე მეტალების იონებისაგან სულფიდური მეთოდის გამოყენებით.

გაწმენდის შემოთავაზებული ტექნოლოგია ითვალისწინებს დამლექ რეაგენტად ნატრიუმის სულფიდის ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) გამოყენებას, რომლის მიღებაც

ხორციელდება საწარმოს ტერიტორიაზე არსებული დასაწყობებული ნედლეულის-ბარიტების გადამუშავებით.

გამოყენებული დამლექი რეაგენტი (ნატრიუმის სულფიდი) გარდა ღრმა გაწმენდისა, იძლევა მძიმე მეტალების სულფიდების სახით მიღების საშუალებას, რომლებიც ადვილად ექვემდებარებიან დაყოფას და ამით უზრუნველყოფენ დამატებითი სულფიდური კონცენტრატის მიღებას.

შემოთავაზებული ტექნოლოგია გარდა მჟავა კარიერული წყლების გაწმენდისა, ასევე ითვალისწინებს დასაწყობებული ნედლეულის გამოყენებას, რომლის გადამუშავებით ხდება კონკურენტუნარიანი პროდუქტის - ბლანფიქსის მიღება, რომელსაც აქვს გამოყენების ფართო სპექტრი.

## Abstract

One of the factors having pernicious influence on the environment is formation of waste waters polluted with heavy metals resulting from activities of mineral resource industry.

Opencast mining of copper and complex ores is connected with pollution of open-cut mine waters with ions of copper, zinc, lead, cadmium and etc.

Definitely, ecological damage caused by the bleed-off waste waters polluted with heavy mettals is especially sizable, as their harmful influence on the human health is having long-term results. That's why surface waters polluted with heavy metals become useless for the watering and fishing. Water leaks into the ground and turns farming into the perilous activity.

Problem of environment pollution with ions of heavy metals is actual for Madneuli Ore Mining Enterprise that appears to be the biggest mining industry of Georgia and is located in 90km south-west from Tbilisi. Distinguished feature of goods of concentrated copper produced by Madneuli Ore Mining Enterprise is factual non-existence of arsenic component that stipulates high demand on its production on the world market.

Acid waste waters formed resulting from processing of Madneuli Complex ore appear to be salty sulphate waters. Water discharge and composition vary in wide range in connection with seasons. There are a lot of factors having natural influence on the formation of waste waters, such as: atmospheric precipitations, temperature, evaporation, velocity of metals natural leaching from the ore, cation exchange and etc.

Annual observation on qualitative composition of continually forming waste waters allows us to give them a classification of secondary technogenic hidromineral resources. Refining of these resources will let us reduce irreversible losses of non-ferrous metals, as well as, reduce underspoil ground expences and environment pollution with liquid and solid wastes.

Main goal of the thesis is to work out refining technology of copper contenting technogenic resources based on recovery of copper from technogenic watters by the instrumentality of precipitating agent natrium sulphide accompanied with receiving of copper contenting sulphide product.

Proposed treatment technology foresees using of natrium sulphide ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) as precipitating agent. Receiving of natrium sulphide is accomplished through the processing of material stored in barite ore.

Besides deep cleaning it is possible to recieve separable heavy metal sulphides using natrium sulphide as precipitating agent, as a result, there are provided additional goods.

Besides waste water treatment, proposed technology foresees stored barite utilization proposely for receiving of valuable goods of blanc fixe, that has a extensive use area.

In conclusion, in case of neutrilized waste water ingress in the ground and reservoirs, the danger of environment pollution owing to factual insolubility of heavy metal sulphides will be minimal.

## შინაარსი

შესავალი	15
1. ლიტერატურის მიმოხილვა	18
1.1. მძიმე ლითონებით დაბინძურებული ჩამდინარე წყლების წარმოქმნის წყაროები. მათი ეკოლოგიური დახასიათება	18
1.2. სამთომომპოვებელი მრეწველობის ტექნოგენური წყლებიდან სპილენძის ამოღების მეთოდები	23
1.3. სამთომომპოვებელი მრეწველობის ნარჩენების მართვის ევროპული მიდგომები და მოთხოვნები	31
2. შედეგები და მათი განსჯა	37
2.1. მჟავა კარიერული წყლების შედგენილობის ხარისხობრივი და რაოდენობრივი კვლევები	37
2.1.1. ატომურ-აბსორბციული სპექტრული ანალიზი	37
2.1.2. ანალიტიკური ხაზები	39
2.1.3. ატომების მშთანთქმელი ფენის მიღება	40
2.1.4. ატომურ-აბსორბციული ანალიზის შედეგებზე გავლენის მქონე ფაქტორები	41
2.2. მჟავა კარიერული წყლების შედგენილობის კვლევის შედეგები და ანალიზი	42
2.3. ექსპერიმენტები მოდელოზ და რეალურ ხსნარებზე	47
2.3.1. მოდელოზური ხსნარების დამზადება	47
2.3.2. სპილენძის, რკინის და თუთიის კატიონების თვისებების დამოკიდებულების ზოგიერთი კანონზომიერება სულფიდონის კონცენტრაციასა და ხსნარის pH-ზე	47
2.3.3. კატიონების დალექვის კანონზომიერების შესწავლა მრავალკომპონენტური სისტემაში	50
2.4. დალექვის პირობების ფავლენა კარიერულ წყლებში ფაზათა განშრელების სიჩქარეზე, ნალექის ტენიანობასა და მოცულობის სიდიდეზე	52



3.	შემუშავებული ტექნოლოგიის დანერგვის შესაძლებლობის შეფასება -----	56
3.1.	ბარიტული ფლოტოკონცენტრატის აღდგენა-----	66
3.2.	მადნეულის ბარიტული კონცენტრატის ბარიუმის ნაერთების წარმოებისთვის ვარგისიანობის ექსპერიმენტული შემოწმება-----	78
3.3.	აღდგენილი მასის გამოტუტვა-----	86
3.4.	მძიმე ლითონების იონების დალექვისთვის ვარგისი დამლექი რეაგენტის და ბლანფიქსის მიღება-----	89
3.5.	ბარიუმის სულფიდით მეტალების იონების დალექვა-----	93
	დასკვნა -----	97
	გამოყენებული ლიტერატურა -----	99
	დანართი -----	110

## ცხრილების ნუსხა

- ცხრილი 1. მადნეულის საბადოს მჟავა კარიერული წყლების (მკწ) დებიტის (მ<sup>3</sup>/სთ), მჟავიანობის და შედგენილობის (მგ/მ<sup>3</sup>) ცვლილება-----43
- ცხრილი 2. მოდელურ ხსნარებში მეტალთა იონების შემცველობის (გ/ლ) ცვლილების დამოკიდებულება გარემოს pH-ზე-----48
- ცხრილი 3. მოდელურ ხსნარებში მეტალების იონების შემცველობის ცვლილების დამოკიდებულება შეყვანილი სულფიდ-იონის რაოდენობაზე-----48
- ცხრილი 4. ხსნარში სულფიდ-იონების დამატებისას გამოყოფილ ნალექებში სულფიდი/მეტალის გათვლითი დამოკიდებულება-----50
- ცხრილი 5. მოდელურ ხსნარებში მეტალთა იონების შემცველობის (გ/ლ) ცვლილების დამოკიდებულება შეყვანილი სულფიდ-იონის რაოდენობაზე-----51
- ცხრილი 6. ალდგენის რეაქციის სიჩქარის კონსტანტების გამოთვლის შედეგები-----76
- ცხრილი 7. ნაწილაკების დიამეტრზე რეაქციის სიჩქარის მუდმივების დამოკიდებულება-----76
- ცხრილი 8. ბარიუმის სულფატის ალდგენაზე კალციუმის ნაერთების დამატების ზეგავლენა-----77
- ცხრილი 9. სტანდარტული იზობარული პოტენციალის და წონასწორობის მუდმივების თერმოდინამიკური შეფასება--78
- ცხრილი 10. ბარიტული კონცენტრატის ქიმიური შემადგენლობა-----79
- ცხრილი 11. მადნეულის საბადოს ბარიტული კონცენტრატის გრანულომეტრული შემადგენლობა-----79
- ცხრილი 12. მადნეულის საბადოს ბარიტული კონცენტრატის ალდგენის ექსპერიმენტების დაგეგმვის პირობები და შედეგები-----81
- ცხრილი 13. კენტაუს საბადოს ბარიტული კონცენტრატის ნარეგების კაზმის ალდგენის დაგეგმვის პირობები და შედეგები-----83

ცხრილი 14.	ბარიუმის სულფატის აღდგენის პროცესზე SiO <sub>2</sub> -ის ზეგავლენის გამოკვლევის დაგეგმვის პირობები და შედეგები-----	84
ცხრილი 15.	ბარიუმის სულფატის აღდგენის პროცესზე SiO <sub>2</sub> -ის ზეგავლენის გამოკვლევის დაგეგმვის პირობები და შედეგები-----	84
ცხრილი 16.	გამოტუტვის პროცესის შესწავლისთვის ექსპერიმენტის დაგეგმვის პირობები-----	86
ცხრილი 17.	გამოტუტვის პროცესის შესწავლის ექსპერიმენტის გეგმა და შედეგები-----	87
ცხრილი 18.	ხსნარში BaS კონცენტრაციის ოპტიმიზაცია-----	88
ცხრილი 19.	დალექილი კათიონების ძნელად ხსნადი ნაერთების pH----	90
ცხრილი 20.	ცალკეული კომპონენტების კონცენტრაციის ცვლილება ხელოვნურად მომზადებულ ხსნარებში სულფიდ-იონის რაოდენობაზე დამოკიდებულებით-----	91
ცხრილი 21.	ხელოვნურად მომზადებულ ხსნარებში სულფიდ-იონების რაოდენობაზე დამოკიდებულებით სისტემაში Cu <sup>2+</sup> -Zn <sup>2+</sup> -Fe <sup>3+</sup> კომპონენტების კონცენტრაციის ცვლილება-----	91
ცხრილი 22.	ნატრიუმის სულფიდით კარიერული წყლებიდან მეტალების იონების დალექვის დინამიკა-----	93
ცხრილი 23.	ბარიუმის სულფიდით კარიერული წყლებიდან მეტალების იონების დალექვის დინამიკა-----	94

## ნახაზების ნუსხა

- ნახ. 1. ნარჩენების მართვის იერარქია-----34
- ნახ. 2. მადნეულის საბადოს კარიერული წყლების დებიტის ცვლილების წელიწადის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი -----44
- ნახ. 3. მჟავა კარიერულ წყლებში კატიონების კონცენტრაციის ცვლილების წელიწადის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი ----- 45
- ნახ. 4. მჟავა კარიერულ წყლებში კატიონების კონცენტრაციის ცვლილების წელიწადის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი -----45
- ნახ. 5. ხსნარში მეტალების იონების კონცენტრაციის pH-ის სიდიდეზე დამოკიდებულება ----- 49
- ნახ. 6. ხსნარში მეტალების იონების კონცენტრაციის შეყვანილი სულფიდ-იონის რაოდენობაზე დამოკიდებულება ----- 49
- ნახ. 7. ნარევი ინდივიდუალური მეტალის იონების კონცენტრაციის შეყვანილი სულფიდ-იონის რაოდენობაზე დამოკიდებულება -- 51
- ნახ. 8. რეალურ ხსნარში განშრეების სიჩქარის ხსნარის pH-ზე დამოკიდებულება ----- 53
- ნახ. 9. რეალურ ხსნარში გამოყოფილი ნალექების მოცულობის ხსნარის pH-ზე დამოკიდებულება ----- 53
- ნახ. 10. რეალურ ხსნარში გამოყოფილი ნალექების ტენიანობის ხსნარის pH-ზე დამოკიდებულება ----- 54
- ნახ. 11. ბარიტ-პოლიმეტალური მადნის გადამუშავების ტექნოლოგიური სქემა ----- 58
- ნახ. 12. ბარიტ-პოლიმეტალური მადნის აღდგენის შედეგად მიღებული აღდგენილი ნადნობის გამოტუტვის სქემა ----- 61
- ნახ. 13. მძიმე მეტალების იონებისგან მჟავა კარიერული წყლების გაწმენდის სქემა----- 63
- ნახ. 14. კარიერული წყლების გაწმენდის საერთო სქემა, დამყარებული ბარიტ-პოლიმეტალური მადნის გამოყენებაზე ----- 65

ნახ. 15. მკწ გაწმენდის შემოთავაზებული სქემა-----	67
ნახ. 16. მკწ გაწმენდის და ბარიტული მადნების კომპლექსური გადამუშავების საერთო ტექნოლოგიური სქემა-----	68
ნახ. 17. მდუღარე შრის ღუმლებში ბარიუმის შემცველი მასალების აღსადგენად ლაბორატორიული დანადგარის სქემა-----	72
ნახ. 18. პროცესების ტემპერატურაზე ბარიუმის სულფატის აღდგენის დამოკიდებულების კინეტიკური მრუდები-----	75
ნახ. 19. ტემპერატურაზე ბარიუმის სულფატის აღდგენის პროცესის სიჩქარის დამოკიდებულების კონსტანტები-----	75
ნახ. 20. ნაბერში აღმდგენლის კონცენტრაციაზე ბარიუმის სულფატის აღდგენის დამოკიდებულების კინეტიკური მრუდები-----	77
ნახ. 21. მეტალების დალექვის დრო $Na_2S$ დამლექის სტექიომეტრული რაოდენობით დამატებისას-----	92
ნახ. 22. მეტალების კონცენტრაციის ცვლილება სულფიდ-იონის კონცენტრაციაზე დამოკიდებულებით-----	92
ნახ. 23. სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატის კარიერული წყლების გაწმენდის ტექნოლოგიური სქემა-----	95

## მადლიერება

ჩემი ნაშრომის შექმნაში გაწეული შრომისა და დახმარებისათვის დიდ მადლობას ვუხდით ჩემს ხელმძღვანელებს.

მადლობას ვუხდით მაღალი ტექნოლოგიების ეროვნული ცენტრის თანამშრომლებს სათანადო ანალიზების ჩატარებაში გაწეული დახმარებისათვის. მადლობას ვუხდით კათედრის ყველა თანამშრომელს, ტექნიკურ საკითხებში გაწეული დახმარებისათვის.

## შესავალი

საწარმოო სიმძლავრეთა მუდმივი ზრდა და სასარგებლო წიაღისეულის მოპოვების ინტენსიფიკაცია, აძლიერებს გარემოს დეგრადაციის ხარისხს.

სასარგებლო წიაღისეულის აღმოჩენისა და გადამუშავების დროს მძიმე მეტალებით დაბინძურებული კარიერული წყლების წარმოქმნა წარმოადგენს გარემოზე დამლუპველი ზეგავლენის მქონე ერთერთ ფაქტორს. სპილენძისა და პოლიმეტალების საბადოების მადნების ღია დამუშავება დაკავშირებულია კარიერული წყლების სპილენძის, თუთიის, ტყვიის, კადმიუმის და ა.შ. იონებით დაბინძურებასთან. საბადოს ტიპი და ხასიათი, ასევე კლიმატური პირობები განაპირობებს დამაბინძურებლების რაოდენობას და შედგენილობას. შესაბამისად, ეკოლოგიური პრობლემის გადაწყვეტა მოითხოვს ყოველი კონკრეტული წარმომშობისადმი ინდივიდუალურ მიდგომას.

განსაკუთრებით მკვეთრად მძიმე მეტალების იონებით გარემოს დაბინძურების პრობლემა დგას მადნეულის სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატის (მსგკ) წინაშე. მსგკ წარმოადგენს საქართველოს ერთერთ უმსხვილეს საწარმოს. იგი განლაგებულია თბილისიდან 90კმ-ზე სამხრეთ-დასავლეთით. მსგკ-ის თვისობრივ განსხვავებას, რომელიც განაპირობებს მსოფლიო ბაზარზე მისი პროდუქციისადმი გაზრდილ მოთხოვნილებას, წარმოადგენს მის მიერ წარმოებულ სპილენძის კონცენტრატში დარიშხანის ფაქტიური არარსებობა.

სამუშაოს ძირითადი მიზანია მსგკ-ს კარიერის დამუშავების და ექსპლოატაციის შედეგად წარმოქმნილი მჟავა კარიერული წყლების (მკწ) გაწმენდა.

დამუშავებაში მყოფი ბოლნის-მადნეულის საბადო წარმოადგენს ბოლნის-მადნეულის რაიონის ტიპიურ წარმომადგენელს. მადნეულის საბადო ექსპლოატაციაშია 1975 წლიდან. სააქციო საზოგადოება

“მადნეულის” სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატი წელიწადში გადაამუშავებს 1.5 მლნ. ტონა მადანს (70 000 ტონა სპილენძის კონცენტრატი). მოთხოვნილება მსგკ-ს პროდუქციაზე მაღალია და ის მთლიანად განიცდის ესქპორტს. მადნეულის საბადოს დამუშავება ხდება ღია მეთოდით [1].

-კარიერის პერიმეტრი-1500 X 1500 მ;

-მაქსიმალური სიღრმე-276 მ

-უმაღლესი ნიშნული-1156 მ.

მკწ ფიზიკო-ქიმიური მაჩვენებლები მოწმობენ ამ წყლების შედგენილობის მერყეობის ფართო დიაპაზონზე, რაც იწვევს გაწმენდის ოპტიმალური მეთოდის საგულდაგულო არჩევის აუცილებლობას.

მკწ-ს რთული და ცვლადი შედგენილობა, დახასიათებული დიდი მოცულობებით, მეტად ართულებს ისეთი ფართოდ გავრცელებული გაწმენდის მეთოდების გამოყენებას როგორცაა: მემბრანული ტექნოლოგია, იონიტების გამოყენება, ელექტროქიმიური მეთოდები.

მოცემულ ეტაპზე, მადნეულის სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატის მკწ-ის გასაწმენდად გამოიყენება კირი [1]. არსებული ტექნოლოგია საწყის ეტაპზე გულისხმობს სპილენძის მიღებას ცემენტაციით, რაც კიდევ ქმნის დამატებით პრობლემებს. დამლექ რეაგენტად კირის გამოყენება დამუშავება საშუალებას იძლევა იონ-მეტალების შემცველობა მიყვანილ იქნას მხოლოდ ზდკ-სთან მიახლოებულ სიდიდემდე. ამასთანავე, კუდსანახებში ლოკალიზაციის სტადიებზე ხდება მკწ ნაწილობრივი მოხვედრა მდინარე მაშავერაში. სასოფლო-სამეურნეო და საყოფაცხოვრებო საჭიროებებისათვის ამ წყლების გამოყენებამ მიგვიყვანა ნიადაგის მძიმე ლითონების იონებით დაბინძურებამდე. ზემოთხსენებულიდან ცხადია, რომ მსგკ მუავა კარიერული წყლებისათვის აუცილებელია უფრო საგულდაგულო გაწმენდა, რომლის გარეშეც დაუშვებელია უახლოეს წყალსაცავებში მკწ ჩაშვება.



ცნობილია, რომ უფრო ღრმა გაწმენდა მიიღწევა მკწ-ს სულფიდებით ( $BaS$ ,  $Na_2S$ ,  $H_2S$ ) დამუშავებით. ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ მძიმე მეტალების სულფიდების ხსნადობა მნიშვნელოვნად მცირეა ნებისმიერ სხვა რთულად ხსნად ნაერთებითან (ჰიდროქსიდები, კარბონატები) შედარებით [2-6].

მკწ გაწმენდის შემოთავაზებული ტექნოლოგია ითვალისწინებს რეაგენტად დამლექი ნატრიუმის სულფიდის ( $Na_2S$ ) გამოყენებას, რომლის მიღებაც ხორციელდება ბარიტის საბადოში დასაწყობებული ნედლეულის გადამუშავებით. ამ მარაგის რაოდენობა შეადგენს 1.8-2 მლნ. ტონას, რომლის გადამუშავება, წინასწარი გათვლებით, სრულად უზრუნველყოფს მკწ გაწმენდას მთელი მსგკ-ის ფუნქციონირების მანძილზე.

## 1. ლიტერატურის მიმოხილვა

### 1.1 მძიმე ლითონებით დაბინძურებული ჩამდინარე წყლების წარმოქმნის წყაროები. მათი ეკოლოგიური დახასიათება

სპილენძმემცველი საბადოების ათვისებისას სამთო საწარმოებში გამუდმებით წარმოიქმნება და გროვდება სპილენძმემცველი ჩანადენების მნიშვნელოვანი მოცულობები, რომელთა ხარისხობრივი და რაოდენობრივი შედგენილობები საშუალებას იძლევა ამ წყლებს მიენიჭოს ტექნოგენური ჰიდრომინერალური რესურსების კლასიფიკაცია.

სპილენძ-ალმადანური მადნების გადამუშავებასთან დაკავშირებული წყალსაცავებსა და ნიადაგში მიმდინარე გეოქიმიური პროცესები ბევრით მსგავსია მთის ქანების გამომფიტავ ბუნებრივ, ქარის და წყლის ეროზიით მიმდინარე პროცესებისა. თუმცა, თუკი ბუნებრივი პროცესები მიმდინარეობს ნელა, გეოსისტემებს შორის წონასწორობის არსებითი რღვევის და არსებული ეკოლოგიური პირობების გაუარესების გარეშე, სამთო მრეწველობის ტექნოგენური ქმედებების შედეგად მკვეთრად იზრდება ბუნებრივ წყლებში დამაბინძურებელ ნივთიერებათა შემცველობა, ხოლო მათი გავრცელების არეალი იზრდება მნიშვნელოვანი სიჩქარით მნიშვნელოვან მანძილზე. რის შედეგადაც ხდება სამთო მრეწველობის გარემოზე ლოკალური ზემოქმედების რეგიონალურში გადაზრდა [7,8]

სპილენძის და პოლიმეტალური მადნების საბადოების ვრცელი გეოგრაფია (სტილუოტერი, არიზონას და იუტას საბადოები ა.შ.შ.-ში, სადბერი კანადაში, ჩუკიკამატა ჩილეში, ცენტრ. აფრიკული სპილენძის სარტყელი, რიო-ტინტო ესპანეთში, კუროკო და ა.შ.) განაპირობებს მოცემული პრობლემის გლობალურ ხასიათს. ბუნებრივია, რომ ამ პრობლემის გადაწყვეტასთან დაკავშირებული ნებისმიერი ახალი ტექნოლოგიური გადაწყვეტა და დამუშავება კონკრეტული საბადოსათვის იქონიებს გარკვეულ ინტერესის საგანს სხვებისთვის [8-10].

საწარმოთა შორის მძლავრ წყალმომხმარებლებს წარმოადგენენ გალვანური წარმოება (საშუალო სიმძლავრის გალვანური წარმოების ჩამდინარე წყლების რაოდენობა ტოლია 600-800მ<sup>3</sup>/დღ), რომელიც თან ახლავს ნებისმიერი პროფილის მანქანათმშენებელ ქარხნებს და გამამდიდრებელ წარმოებებს. ამ წარმოებების ჩამდინარე წყლები თვისობრივად მსგავსია - შეიცავენ მძიმე ლითონთა პრაქტიკულად მთელ გამას, ძვირფასი ლითონების ჩათვლით. ამდენად ამ ტიპის ჩამდინარე წყლების გაწმენდის გარდა დიდი მნიშვნელობა აქვს მათში გახსნილი ლითონების რეგენერაციას [11].

ეს წარმოებები გამოირჩევიან მავნე ნარჩენების დიდი რაოდენობით და მიეკუთვნებიან ეკოლოგიურად საშიშ, ანუ არაეკოლოგიურ წარმოებებს. მათი საქმიანობის შედეგად გარემოში წლიურად გამოიტყორცნება 50ათ. ტ. მძიმე ლითონი, 100ათ. ტ. მჟავა და ტუტე. ამ ნივთიერებათა 25-30% ხვდება წყლის აუზში.

ყოველი ტექნოლოგიური ობიექტის ირგვლივ (მადაროები, კარიერები, ნაყარები, გამამდიდრებელი ფაბრიკები, ლამსაცავები) როგორც წესი, ფორმირდება ბუნებრივ რესურსებზე ტექნოგენური ზემოქმედების რამდენიმე ზონა: ატმოსფეროს დაბინძურების ზონა, ნიადაგის დაბინძურების ზონა, მიწიქვეშა, ზედაპირული წყლების და ნიადაგის გეოქიმიური დაბინძურების ზონა. სამთო-გამამდიდრებელი მრეწველობის ობიექტების კომპაქტური განლაგება ზრდის ტექნოგენური ზონების ერთობლივ გავლენას. სამთო მრეწველობის ქმედების შედეგად ტექნოგენური პროცესები აღწევს მნიშვნელოვან სიღრმეს, იწვევს საბადოს წყლის რეჟიმის შეცვლას, წყლების დაბინძურებას [12].

მძიმე ლითონები ხასიათდებიან მაღალი ტოქსიკურობით. განსაკუთრებით გამორჩევა ექსვალენტური ქრომი (Cr<sup>6+</sup>) და კადმიუმი (Cd). ისინი აკუმულირდებიან ადამიანის ორგანიზმში და მცირე დროით მოქმედების დროსაც კი იწვევენ მძიმე დაავადებებს. ქრომს აქვს კანცეროგენული თვისებები, იწვევს ბრონქიალურ ასთმას, წყლულოვან

დაავადებებს. კადმიუმი იწვევს ღვიძლის, თირკმელების, კუჭქვეშა ჯირკვლის დაავადებებს.

ცხადია, მძიმე ლითონებით დაბინძურებული წყლების ჩაშვებით გამოწვეული ეკოლოგიური ზარალი განსაკუთრებით დიდია, რადგანაც ადამიანის ჯანმრთელობაზე მათი მავნე მოქმედება ხასიათდება ხანგრძლივი შედეგებით. ამიტომ მძიმე ლითონებით გაჭუჭყიანებული ზედაპირული წყლები გამოუსადეგარი ხდება მორწყვისათვის, სათევზე მეურნეობისათვის, წყალი იჟონება ნიადაგში, ილექება და მას ხდის სოფლის მეურნეობისათვის ეკოლოგიურად საშიშს.

საბადოზე წარმოქმნილი ყველა სახის წყლების გადაქაჩვა ხდება ერთიან ნაკადში, იმ დროს, როდესაც საბადოს განსხვავებულ წერტილებში წარმოქმნილ ტექნოგენურ წყლებს შესაძლებელია გააჩნდეთ ერთმანეთისგან განსხვავებული ქიმიური შედგენილობა. ასე და ამგვარად, სპილენძის კომპლექსის სამთო საწარმოებში ტექნოგენური წყლების შეგროვების არსებული სქემები საჭიროებენ ძირეულ გარდაქმნას ბუნებრივი წყლების და გარემოს დაბინძურებისგან დაცვის ღონისძიებების განსახორციელებლად, ასევე "თხევადი მადნის" გადამუშავებაში ჩართვისათვის [13,14].

თბილისიდან სამხრეთ-დასავლეთით 80-90 კმ-ზე ბოლნისი-მადნეულის საბადოს რაიონში იმყოფება საბადოს გამოვლინებები ვიწროდ განლაგებული მადნების სახით. 30 კმ<sup>2</sup> ფართობზე ადგილი აქვს მადნის 67 გამოვლინებას. წარმოშობით ისინი მიეკუთვნება საბადოების ვულკანოგენურ ჰიდროთერმულ ჯგუფს (პოსტვულკანური წარმოშობის მასიური საბადოები წარმოადგენს სპილენძის, ტყვიის, თუთიის, ოქროს და ვერცხლის ძირითად წყაროს) [15].

ბოლნისი-მადნეულის საბადოს რაიონის არანაკლებ გავრცელებულ მეტალურ მინერალებს წარმოადგენს: ბარიტი, პირიტი, ქალკოპირიტი, ქალკოზინი, კოველინი, სფალერიტი, გალენიტი, ბორნიტი, ოქრო და ვერცხლი. გარდა ამისა, მადნების ზოგიერთ ტიპში არსებობს კომერციული

მნიშვნელობის რაოდენობით ინდიუმი, გალიუმი, სელენი, ტელური და გერმანიუმი. ბოლნისი-მადნეულის საბადოს რაიონში შეინიშნება კუროკოს საბადოებისათვის დამახასათებელი მადნის წარმოქმნის ვერტიკალური ზონალურობა ზემოდან ქვემოთ:

- ბარიტები
- ბარიტ-ოქროშემცველი
- მეორადი კვარციტები
- ბარიტოპოლიმეტალური მადანი
- სპილენძ-თუთიის მადანი
- სპილენძ-პირიტული მადანი

ერთი სახის მადნის წარმოქმნიდან მეორეზე გადასვლა წარმოშობს გარდამავალი სახის მადნებს:

- ბარიტ-ტყვიის
- ბარიტ-თუთიის
- ტყვია-თუთიის
- თუთიის

საბადოს ლოკალიზაციისას არსებით როლს თამაშობს სტრუქტურა.

დღეისათვის ბოლნის-მადნეულის რაიონის პოტენციალი შეფასებულია:

- ერთი დადგენილი და დამუშავებული საბადო
- 6 ნაწილობრივ შესწავლილი საბადო
- შეფასების სტადიაზე მყოფი 5 საბადო
- 13 ალუვირებული ოქროს საბადო

მადნეულის ბარიტოპოლიმეტალური მადნების ამოდებისა და გადამუშავების დროს, ატმოსფერული ნალექებისა და გრუნტის წყლების ზემოქმედებით წარმოიქმნება კარიერული წყლები. ამ უკანასკნელთა კონტაქტისას მთის ქანებთან ხდება იონური მიმოცვლა. მადანში პირიტის, ქალკოპირიტის არსებობის, ჰაერის ჟანგბადისა და თიონურ ბაქტერიების

ზემოქმედების გამო საბადოზე წარმოიქმნება მუავა კარიერული წყლები [16].

მკწ შედგენილობა და დებიტი მერყეობს ფართო ზღვრებში კლიმატურ პირობებისა და წელიწადის დროზე დამოკიდებულებით. თავისი შედგენილობით მკწ მიეკუთვნება სულფატური კლასის მლაშე წყლებს. საშუალო წლიური მკწ დებიტი შეადგენს 1 მლნ. მ<sup>3</sup>.

მკწ-ში იონების საშ. შემცველობა (მგ/ლ):

- Cu 450-1200
- Zn 250-1100
- Fe 500-1000
- Pb 0.20-0.70
- Co 0.5-1.2
- Ch 0.9-2.85
- pH მკწ 2.5-2.6

ასეთი წყლები დამაბინძურებელ ნივთიერებათა შემცველობით (საერთო რაოდენობა 2-5 გ/ლ) მიეკუთვნება საშუალოდ კონცენტრირებულს, აგრესიულობის მიხედვით კი აგრესიულ ხსნარებს.

გარდა შეწონილი ნაწილაკებისგან ტექნოგენური წყლების გაწმენდისა, საჭიროა მეთოდები, რომლებიც საშუალებას მოგვცემს ამოვიღოთ მათგან ფასეული კომპონენტები. ამგვარად, სამთო სამრეწველო პროფილის ტექნოგენებს მივყავართ ტექნოგენური წყლების მნიშვნელოვანი მოცულობების დაგროვებამდე ტექნოგენური სპილენძშემცველი ჰიდრორესურსების ფორმირებით. მოცემული წყლები პასუხობენ სამ მთავარ მოთხოვნას: ხარისხი, რაოდენობა და მათგან ფასეული ნედლეულის ამოდების შესაძლებლობა. აუცილებელია იმ წყლების კლასიფიკაცია, რომლებიც მათი ლოკალური წარმოქმნის ადგილზე მოგვცემდა წყლის ნაკადების სელექციურად გაყოფის საშუალებას. ასევე არჩეული უნდა იქნას მათგან სპილენძის ამოდების მეტნაკლებად ეფექტური მეთოდი. მოცემული ნედლეულის

გადამუშავებაში ჩართვა მოგვცემს ბუნებრივი რესურსების უფრო სრულად გამოყენების საშუალებას [17,18].

## **1.2 სამთომომპოვებელი მრეწველობის ტექნოგენური წყლებიდან სპილენძის ამოღების მეთოდები**

სპილენძმომცველი საბადოების ათვისებისას სამთო საწარმოებში გამუდმებით წარმოიქმნება და გროვდება სპილენძმომცველი ჩანადენების მნიშვნელოვანი მოცულობები, რომელთა ხარისხობრივი და რაოდენობრივი შედგენილობები საშუალებას იძლევა ამ წყლებს მივანიჭოთ ტექნოგენური ჰიდრომინერალური რესურსების კლასიფიკაცია.

სპილენძმომცველი ტექნოგენური წყლების გადამუშავების ტრადიციული მეთოდები, როგორცაა ქიმიური დალექვა, ცემენტაცია, გალვანოკოაგულაცია, ექსტრაქცია და სხვ. ძირითადად გამოიყენება ლოკალიზებული, სპილენძით საკმაოდ მდიდარი ხსნარებისთვის და თან სდევს მეორადი საწარმოო ნარჩენების წარმოქმნა, რომლებიც მოითხოვს შემდგომ გაუვნებელყოფას და უტილიზაციას. დაბალი კონცენტრაციის წყლებიდან სპილენძის უნარჩენო ამოღებისთვის გამოიყენება ბუნებრივი სორბციული მასალები - ცეოლიტები, თიხა მინერალები და პირიტმომცველი მადნები. სპილენძმომცველი ჰიდრორესურსების და გამდიდრების ნარჩენების გადამუშავების ტექნოლოგიის შემუშავება მოგვცემს ბუნებრივი რესურსების სრული გამოყენების ამაღლების თავისდროული და აქტუალური საკითხის გადაწყვეტის საშუალებას, ამავდროულად გარემოზე ეკოლოგიური დატვირთვის შემცირებით [17-19].

ფერადი მეტალურგიის საწარმოების ტექნოგენური წყლებიდან სპილენძის ამოღების პრობლემა მრავალია წელია აქტუალურია.

სპილენძის საწარმოების და გამამდიდრებელი ფაბრიკების ნაკადები საკმაოდ ლოკალიზებულია. ფერადი მეტალებისგან გაწმენდა ჩვეულებრივ შედის წყლის უკუმომარაგების სქემაში და მეტალების დანაკარგები

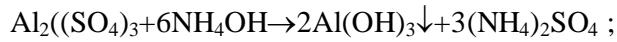
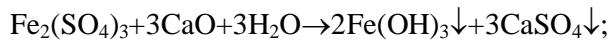
ძირითადად დაკავშირებულია დრენაჟთან. შახტური, კარიერული და ნაყარქვეშა წყლის ნაკადები ხშირად გამოდის სანიტარული ზონების საზღვრებს მიღმა, ამასთან, მათში მეტალების შემცველობა ასეულ ათასჯერ აღემატება ზღვ-ს თევზსაშენი მეურნეობის წყალსატევებისათვის [19]. ტექნოგენური წყლების შედგენილობის და თვისებების დიდ მრავალფეროვნებასთან კავშირში მათი გადამუშავება ხორციელდება რამდენიმე მეთოდით [20-23]:

- ჰიდროქსიდების და სხვა უხსნადი ან მცირედ ხსნადი მეტალების შენაერთების ქიმიური დალექვა;
- უფრო ელექტროუარყოფითი მეტალებით (Fe, Al, Zn) უფრო ფასეული მეტალების იონების (Cu, Au, Ag) ელექტროქიმიური დალექვა (ცემენტაცია), გარე ელექტრული პოტენციალის დადებით ელექტროლიტური დალექვა, გალვანოქიმიური - გალვანური წყვილების შიდა ელექტროლიზის ხარჯზე, რომლებიც წარმოქმნის კათოდურ და ანოდურ უბნებს და სხვა ჟანგვა-აღდგენითი პროცესები, მიკროორგანიზმების გამოყენების ჩათვლით;
- სორბციული ტექნოლოგიების გამოყენება, სადაც სორბენტების რანგში გამოიყენება სინთეტიკური ბოჭკოები, აქტივირებული ნახშირი, ბუნებრივი მინერალები - ცეოლიტები, თიხები, პირიტები და სხვ., ბიოსორბენტები;
- თხევადი ექსტრაქცია თხევად ორგანული ექსტრაგენტების გამოყენებით, რომლის დროსაც მეტალები და სხვა ელემენტები გადადიან თხევადი ფაზიდან ორგანულში;
- ხსნარებიდან იონების ფლოტაციური ამოღება [24].

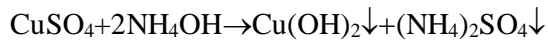
დღეისათვის pH 1.5-3 მჟავა წყლების ნეიტრალიზაციისთვის იყენებენ კირს, მარმარილოს, დოლომიტს, ამიაკურ წყალს და სხვ. მჟავა წყლებიდან სპილენძს აცილებენ ჰიდროქსიდების სახით ბალასტური მეტალების დომინირებული რაოდენობით (გ/ლ-მდე). პირველ სტადიაზე ილექება ბალასტური მეტალების ჰიდროქსიდები pH 2.5...3 ხსნარების



ნეიტრალიზაციისას. დალექვის პროცესი მიმდინარეობს შემდეგი რეაქციებით:



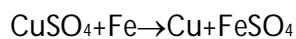
გარემოს pH H ამაღლებისას >6 იმავე რეაგენტებით ხდება სპილენძის ჰიდროქსიდის დალექვა:



მიუხედავად მეთოდის ეკოლოგიურობისა და შესრულების სიმარტივისა, ფართო საწარმოო გამოყენება იზღუდება კირის დიდი ხარჯით, მეტალების მინარევების არსებობით, რომელთა დალექვისას იკარგება დიდი რაოდენობით სპილენძი, დალექვისთვის აუცილებელი დიდი ფართობით [17].

კონცენტრირებული ტექნოგენური წყლების და ასევე სპილენძ-ალმადანის საბადოს ნაყარის გამოტუტვის პროდუქტიული ხსნარების გადამუშავებისთვის გამოიყენება ცემენტაციის და თხევადი ექსტრაქციის მეთოდები შემდგომი ელექტროლიტური დალექვით [22].

დღეისათვის მსოფლიოში სპილენძის წარმოების 10%-ზე მეტი მიიღება ცემენტაციის პროცესების გამოყენებით. სპილენძის ცემენტაცია - ესაა ელექტროქიმიური პროცესი, მიმდინარე გახსნილ იონებთან მეტალური ნაწილაკების ზედაპირის კონტაქტის ზედაპირზე, რომლის დროსაც ხდება მეტალის (რკინის, თუთიის) გახსნა და ნალექის სახით სპილენძის გამოდევნა ხსნარიდან შემდეგი რეაქციით:



ცემენტაციის წინ ხსნარები ხშირად ექვემდებარება დამუშავებას, რომელიც მოიცავს pH-ის დარეგულირებას, შეწონილი ნაწილაკების მოცილებას და სამვალენტური რკინის აღდგენას. სამვალენტური რკინა ამცირებს ცემენტაციის სიჩქარეს, ამიტომ ხარჯი აღწევს 1კგ დასალექ სპილენძზე 1.2-დან 3კგ-მდე თეორიულად აუცილებელისგან (0.88 ერთეული ერთეულ სპილენძზე) განსხვავებით. ამასთან კავშირში

ცემენტაციის წინ აუცილებელია ხსნარიდან სამვალენტიანი რკინის მოცილება მისი ჰოდროქსიდების დალექვის გზით.

მიმოცვლითი რეაქციის სიჩქარე განისაზღვრება ელექტრონების გაცემის სიჩქარით და დამოკიდებულია ელექტროდების პოტენციალთა სხვაობის სიდიდეზე.

ცემენტაციის პროცესი მარტივია გამოსაყენებლად, თუმცა ჩამდინარე წყლების დიდი მოცულობების დროს რკინის მნიშვნელოვანი ხარჯი გვაიძულებს ვეძიოთ ხსნარებიდან სპილენძის ამოღების საკითხის გადაწყვეტის ახალი გზები. წარმოების მცირე მოცულობების დროს ეს მეთოდი წარმოადგენს მეტნაკლებად მისაღებს შემდეგი მოთხოვნების დაცვით: ხსნარის pH უნდა იყოს 1.5-3 ზღვრებში, ხსნარში სპილენძის კონცენტრაცია - არაუმეტეს 20გ/დმ<sup>3</sup>-სა.

გალვანოქიმიური დამუშავება წარმოადგენს ცემენტაციის მონათესავე, სპილენძის და სხვა ფასეული კომპონენტების ამოღების არსებული პროცესების ალტერნატიულ ელექტროქიმიურ პროცესს. ჩამდინარე წყლების გალვანოქიმიური გაწმენდა, დაფუძნებული განსხვავებული ელექტროქიმიური პოტენციალის მქონე მასალების ნარევით მათ დამუშავებაზე, ფართოდ ვრცელდება და გამოიყენება რუსეთის, დსთ, კანადის და იტალიის რიგ საწარმოებში [17,26].

XX საუკუნის 60-იანი წლების დასაწყისიდან ინტენსიურად ხდება გამოტუტვის ხსნარებიდან სპილენძის ამოღების ექსტრაქციული მეთოდების დამუშავება და დანერგვა. ეს არის წყლიანი ხსნარებიდან სპილენძის ნაერთების ორგანულში გადაყვანის პროცესი. მისი არსი მდგომარეობს სპილენძის იონების ან მოლეკულების მიერ ჰიდრატირებული ნაერთების წარმოქმნაში მათი დაუმუხტავი ელექტრონეიტრალური მოლეკულის ან მდგრადი იონური წყვილის ექსტრაგენტთან ურთიერთქმედების შედეგად. ამასთან, ექსტრაგირებული ელემენტი სრულად ან ნაწილობრივ თავისუფლდება ჰიდრატული გარსისგან და წარმოქმნის ჰიდროფობურ ნაერთს, რომელიც არ იხსნება

წყლიან და იხსნება ორგანულ გარემოში. ექსტრაგენტების გარდა, პროცესში მონაწილეობს მათი ორგანული გამხსნელები. თხევადი ექსტრაქცია გამოიყენება მიწისქვეშა ან წყარი გამოტუტვის კონცენტრირებული ხსნარებიდან სპილენძის ამოსაღებად.

მეთოდი არსობრივად წარმოადგენს სპილენძის სელექციურ კონცენტრირებას 40-50გ/დმ<sup>3</sup>-მდე ამ ხსნარების შემდგომი ელექტროლიზით ან ავტოკლავური გადამუშავებით. პირველი მეტნაკლებად ეფექტური ექსტრაგენტი, შემუშავებული ფირმის General Mills-ის მიერ იყო LIX-64, რომელიც წარმოადგენდა 2-ჰიდროქსიბენზოფენოქსინამინების ნარევს, რომელიც დანერგეს ბლუმბერდის საბადოზე (ა.შ.შ.) ცემენტაციის ნაცვლად 1968 წელს [17].

ექსტრაგენტების სახით გამოიყენება ტოლუოლი, ამილის სპირტი, ბენზოლი, აცეტონი, ოთხქლორიანი ნახშირბადი, გოგირდნახშირბადი და სხვ. ექსტრაქციის ძირითად ღირებულებს წარმოადგენს ექსტრაგენტის დიდი მოცულობა და წონასწორობის სწრაფი დამყარება, ასევე მოწყობილობის კომპაქტურობა და მისი მაღალი მწარმოებლურობა, მხოლოდ თხევადი ნივთიერებების გამოყენებით განპირობებული პროცესის მაღალი მოქნილობა, ფართო სელექტიურობა. ამ მეთოდის ნაკლად შეიძლება ჩაითვალოს დასამუშავებელ ხსნარში ექსტრაგენტის ნაწილობრივი ხსნადობა და ემულსიების არასრულად დაშლა, გამხსნელების ხანძარ და ფეთქებადსაშიშროება.

სორბციულ ტექნოლოგიებში ნაკადებიდან სპილენძის ამოსაღებად აბსორბენტების სახით იყენებენ სინთეტიკურ ფისებს, სხვადასხვა მარკის აქტივირებულ ნახშირს, ნაცარს, შლაკს, ნახერხს, ტორფს და ასევე სხვადასხვა თიხა მინერალებს [27,28]. მეტნაკლებ სორბციულ თვისებებს და უნივერსალურობას ფლობს აქტივირებული ნახშირი, თუმცა იგი წარმოადგენს საკმაოდ ძვირ სორბენტს, რაც ზღუდავს წყლის გაწმენდის პრაქტიკაში მის ფართო გამოყენებას. სინთეტიკური სორბენტების გამოყენება ლიმიტირებულია რიგი შეზღუდვებით, მათ შორისაა ნაკადების

წინასწარი გაწმენდა წვრილი და უხემდისპერსული შეწონილი ნაწილაკებისგან, ასევე გაწმენდას დაქვემდებარებული წყლების მოცულობები. სპეციალურ ლიტერატურაში განიხილება წყლის გაწმენდისთვის ცეოლითების სორბციული თვისებების საკითხი. ბუნებრივი ცეოლითებისადმი განსაკუთრებული ყურადღების მიზეზია მათი ფართო გავრცელება, მაღალი სორბციული თვისებები, ხელმისაწვდომობა, სიაფე, არაერთჯერადი გამოყენების შესაძლებლობა. ცეოლითები თავისთავად წამოადგენს ღია კარკასულ-შრეობრივი სტრუქტურის მქონე ტუტე ელემენტების ჰიდრატირებულ ალუმოსილიკატებს, აგებულია მათ საშუალებას აძლევს მოახდინონ შერჩევითი სორბცია. არხების ზომები საკმარისია მათში კატიონების შესაღწევად, ხოლო ფორებთან ერთად მათი ჯამური მოცულობა შეადგენს 50%, თუმცა, ცეოლითებს გააჩნიათ მცირე მოცულობა დასაკავებელ კომპონენტებთან მიმართებაში და დაბალი რეგენერაციული თვისებები [17,29,30].

მეტნაკლებად ხელმისაწვდომ და გავრცელებულ რეაგენტს წარმოადგენს კირი, რომელიც გამოიყენება როგორც კოაგულანტი, დამლექავი და ქიმიური რეაგენტი, ქლორიანი კირი, კალციუმის და ნატრიუმის ჰიპოქლორიდები და ასევე ტუტე და ტუტემიწათა ლითონების სულფიდები და ოქსიდები.

მსგკ-ს მიერ გამოყენებული მკწ გაწმენდის არსებული ტექნოლოგია ითვალისწინებს რეაგენტად კირის დამლექის გამოყენებას და მოიცავს გაწმენდის შემდეგ სტადიებს: მკწ გადაქაჩვა, ნაყარქვეშ ლოკალიზაცია. დამწდომში დაწდომა (მოც. 5000მ<sup>3</sup>), ცემენტაცია აქტიური რკინის ფხვნილით, ფილტრაცია, ჩაუმქრალი კირის ნეიტრალიზაცია და ნალექების ჩაყრა კუდსანახში. ნეიტრალიზებული და გაწმენდილი წყალი გამოიყენება მსგკ საჭიროებებისთვის (იხ. დანართი 2).

ასეთი გაწმენდის ნაკლს წარმოადგენს დიდი რაოდენობით ძნელადგაუწყლოებადი და დაყოფისადმი დაუქვემდებარებელი შლამის

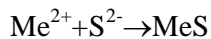
წარმოქმნა. შესაბამისად, მისი სამრეწველო გამოყენება გაძნელებულია და არ ხორციელდება. გაწმენდის სქემაში გამოიყენება რეაგენტები (აქტივირებული რკინის ფხვნილი და ა.შ.) რომლებიც ქვეყანაში არ იწარმოება და რომელთა ტრანსპორტირება ქმნის დამატებით ტექნოლოგიურ პრობლემებს. გაწმენდილი წყალი შეიცავს დიდი რაოდენობით კალციუმის მარილებს და მისი გამოყენება ხელახალ წყლის მომარაგებაში რთულია.

სპილენძმემცველი ტექნოგენური წყლების უფრო ღრმა გაწმენდა მიიღწევა სულფიდებით ( $\text{BaS}$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ ;  $\text{H}_2\text{S}$ ) დამუშავებით. ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ მძიმე მეტალების სულფიდების ხსნადობა მნიშვნელოვნად მცირეა, ვიდრე ნებისმიერი სხვა რთულადხსნადი ნაერთებისა (ჰიდროქსიდები, კარბონატები) [31].

გაწმენდის შემოთავაზებული ტექნოლოგია ითვალისწინებს დამლექ რეაგენტად ნატრიუმის სულფიდის ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) გამოყენებას, რომლის მიღებაც ხორციელდება ბარიტის საბადოში დასაწყობებული ნედლეულის გადამუშავებით. იგი შედგება შემდეგი სტადიებისგან:

- I – ბარიტის აღდგენა;
- I – სველი დაფქვა და აღდგენილი მასის გამოტუტვა (ნადნობი);
- III – დამლექი რეაგენტის და ბლანფიქსის მიღება;
- IV – მკწ გაწმენდა მიღებული ნატრიუმის სულფიდის ხსნარით.

მოცემული სქემის მესამე სტადიაზე მიმოცვლითი რეაქციის შედეგად მიღებული თანაპროდუქტი - ნატრიუმის სულფიდი შემოთავაზებული ტექნოლოგიის მიხედვით ასრულებს დამლექი რეაგენტის ფუნქციას. pH 4.0-5.0 მნიშვნელობისას ის უზრუნველყოფს მძიმე მეტალების პრაქტიკულად სრულ დალექვას შემდეგი რეაქციით:



წინასწარმა მონაცემებმა აჩვენა, რომ ნაჩვენები მიმოცვლის რეაქცია მიმდინარეობს სტექიომეტრული კანონზომიერებებით, ხოლო პროცესის კინეტიკა აიწერება თავად მიმოცვლის რეაქციით [17].

pH 4.0-5.0 მნიშვნელობა მიიღწევა ნატრიუმის სულფიდის დამატებით, რომელიც ერთდროულად ასრულებს დამლექი რეაგენტის და pH რეგულატორის ფუნქციას. ხსნარში არსებული მძიმე ლითონების იონები ილექება სულფიდების სახით, ამასთან თუთიის საკმაოდ სრული დალექვა მიიღწევა უკვე pH 1.5-ზე, ნიკელის და კობალტისა pH 1.3, ხოლო სპილენძის, რკინის და კადმიუმის - pH 4.0-4.3-ზე. მითითებული pH მნიშვნელობების მიღება უზრუნველყოფილია დამლექი რეაგენტი ნატრიუმის სულფიდით, რომლის საკუთარი pH 11-12-ს უტოლდება.

ჩატარებულმა ლაბორატორიულმა ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ მძიმე მეტალების დალექვა მიმდინარეობს 15-20 წუთში, ხოლო სპილენძშემცველი ტექნოგენური წყლების გაწმენდის ხარისხი აღწევს ზღვ-ზე გაცილებით დაბალ მნიშვნელობებს.

გაწმენდის არსებული და შემოთავაზებული სქემების შედარებისას ადვილია მათ შორის განსხვავების დანახვა. არსებულ სქემაში გამოყენებული რეაგენტი - დამლექი კირი იხარჯება გაწმენდასა და ნეიტრალიზაციაზე. მიღებული ნალექი - ჰიდროჟანგების და კალციუმის სულფატის ნარევი არ ექვემდებარება დაყოფას და მისი სამრეწველო გამოყენება არ ხორციელდება. გაწმენდის შემოთავაზებული სქემა არსებულზე მარტივია (აკლდება გაწმენდის სტადია კუდსანახში). ამ სქემის მიხედვით, გამოყენებული დამლექი რეაგენტი (ნატრიუმის სულფიდი) გარდა ღრმა გაწმენდისა, იძლევა მძიმე მეტალების სულფიდების სახით მიღების საშუალებას, რომლებიც ადვილად ექვემდებარებიან დაყოფას და ამით უზრუნველყოფენ დამატებითი პროდუქციის წარმოქმნას.

ვინაიდან მძიმე ლითონები გადადიან პრაქტიკულად უხსნად ნაერთებში (შესაბამისი სულფიდების ხსნადობის ნამრავლებია:  $\text{CuS} - 6 \cdot 10^{-36}$ ;  $\text{Cu}_2\text{S} - 10^{-48}$ ;  $\text{FeS} - 5 \cdot 10^{-18}$ ;  $\text{NiS} (\alpha) - 10^{-19}$ ;  $\text{NiS} (\beta) - 10^{-24}$ ;  $\text{NiS} (\gamma) - 10^{-26}$ ;  $\text{ZnS} (\alpha) - 1.6 \cdot 10^{-24}$ ;  $\text{ZnS} (\beta) - 2.5 \cdot 10^{-22}$ ;  $\text{CdS} - 1.6 \cdot 10^{-28}$ ). შესაბამისად, მინიმუმამდე იქნება დაყვანილი ნეიტრალიზებული წყლებით გარემოს დაბინძურების საფრთხე.

რაც შეეხება ინფორმაციას გაწმენდის პროცესში გამოყენებული ნატრიუმის სულფატის მარაგების შესახებ, - საქართველოში გლაუბერის მარილის სამი საბადოა ცნობილი, მათ შორის თბილისში. თუმცა, გლდანის საბადოს მარაგები ფაქტობრივად ამოწურულია, ხოლო საგარეჯოს რაიონში ორი მლაშე ტბის მირაბილიტის მთლიანი მარაგები 1 მილიონ ტონას აღემატება. მიუხედავად იმისა, რომ  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  შემცველობით ეს საბადოები მსოფლიო ხარისხის ნედლეულს შეიცავს, საქართველოში გლაუბერის მარილის იმპორტი, ძირითადად, უკრაინიდან წარმოებს [32].

საჭიროა განსაკუთრებით აღინიშნოს, რომ შემოთავაზებული ტექნოლოგია გარდა ჩანადენი წყლების გაწმენდისა, ასევე ითვალისწინებს მადანში არსებული ბარიტის გამოყენებას ფასეული პროდუქტის - ბლანფიქსის მისაღებად, რომელსაც აქვს გამოყენების ფართო სპექტრი (მინერალური საღებავების წარმოება, მუყაოს, ფოტოქაღალდის, განსაკუთრებული ხარისხის ქაღალდის წარმოება, ნავთობმომპოვებელი წარმოება, ლინოლეუმის წარმოება, მედიცინა) [33].

საბოლოო ჯამში მინიმუმამდე იქნება დაყვანილი გარემოს დაბინძურების საფრთხე ნეიტრალიზებული მჟავა კარიერული წყლების ნიადაგსა და წყალსაცავებში მოხვედრის შემთხვევაში, ვინაიდან მძიმე ლითონები იქნებიან პრაქტიკულად უხსნადი ნაერთების სახით [8].

### **1.3. სამთომომპოვებელი მრეწველობის ნარჩენების მართვის ევროპული მიდგომები და მოთხოვნები**

მთელ მსოფლიოში, მოსახლეობის ზრდასთან ერთად სულ უფრო და უფრო აქტუალური ხდება ნარჩენების მართვის პრობლემა. მსოფლიოს წამყვანი ქვეყნების წარმომადგენლები ათეულობით წლებია ცდილობენ ამ პრობლემის გადაწყვეტას და ნარჩენების მართვის სფეროში მუდმივად ახალ ტექნოლოგიებს გვთავაზობენ.

ნარჩენების მართვის თანამედროვე მიდგომად ითვლება 3R მიდგომა. ტერმინი 3R წარმოადგენს 3 პრიორიტეტული მიდგომის აღმნიშვნელი ქმედებების აღმნიშვნელი სიტყვების აბრევიატურას. ესენია: Reduce – შემცირება, Reuse - ხელახალი გამოყენება და Recycle – რეციკლირება.

ნარჩენების შემცირება (Reduce) გულისხმობს ნაკლები პროდუქციის ყიდვას, მოხმარებასა და შესაბამისად, ნაკლები ნარჩენის წარმოქმნას. ნარჩენების შემცირება არის პროცესი ან პოლიტიკა, რომლის დროსაც ხდება ცალკეული ადამიანების, ან მთლიანად საზოგადოების მიერ წარმოქმნილი ნარჩენების რაოდენობის შემცირება. ამ პროცესში ასევე იგულისხმება მოხმარებული ენერჯისა და რესურსების შემცირებაც.

ნარჩენების ხელახალი გამოყენება (Reuse) გულისხმობს უკვე მოხმარებული ნივთების მეორად გამოყენებას. ეს შეიძლება იყოს ნივთების იგივე ან სხვა დანიშნულებით გამოყენება. საჭირო და კარგ მდგომარეობაში მყოფი ნივთების გაცვლა ან ხელახალი გამოყენება, მათი ტექნოლოგიური გადამუშავების გარეშე ზოგავს ფულს, ენერჯიას და რესურსებს. ხელახალი გამოყენების კლასიკური მაგალითებია: მინის ბოთლების ჩაბარება საწარმოში, სადაც მას ხელახლა იყენებენ პროდუქციის ჩამოსასხმელად, ავტომობილების და მათი ნაწილების ხელახალი გამოყენება, მეორადი ტანსაცმლით სარგებლობა და სხვა.

ნარჩენების რეციკლირება (Recycle) წარმოადგენს აღდგენით ღონისძიებას, რომლის საშუალებითაც ნარჩენი ისეთ პროდუქტად, მასალად ან ნივთიერებად გარდაიქმნება, რომელიც განკუთვნილია თავდაპირველი დანიშნულებით, ან სხვა მიზნით გამოყენებისათვის. რეციკლირება მოიცავს ორგანული მასალების გადამუშავებას, მაგრამ არ მოიცავს ენერჯის აღდგენას და მათ ისეთ მასალებად გარდაქმნას, რომლებიც გამოიყენება საწვავად ან ამოვსების ოპერაციებისთვის.

ამ კომპონენტს უდიდესი ყურადღება ექცეოდა საერთაშორისო დონეზე ჯერ კიდევ 3R ინიციატივის დანერგვამდე. რეციკლირების შედეგად მცირდება ნედლი მასალის ან რესურსის მოხმარება, რაც თავის



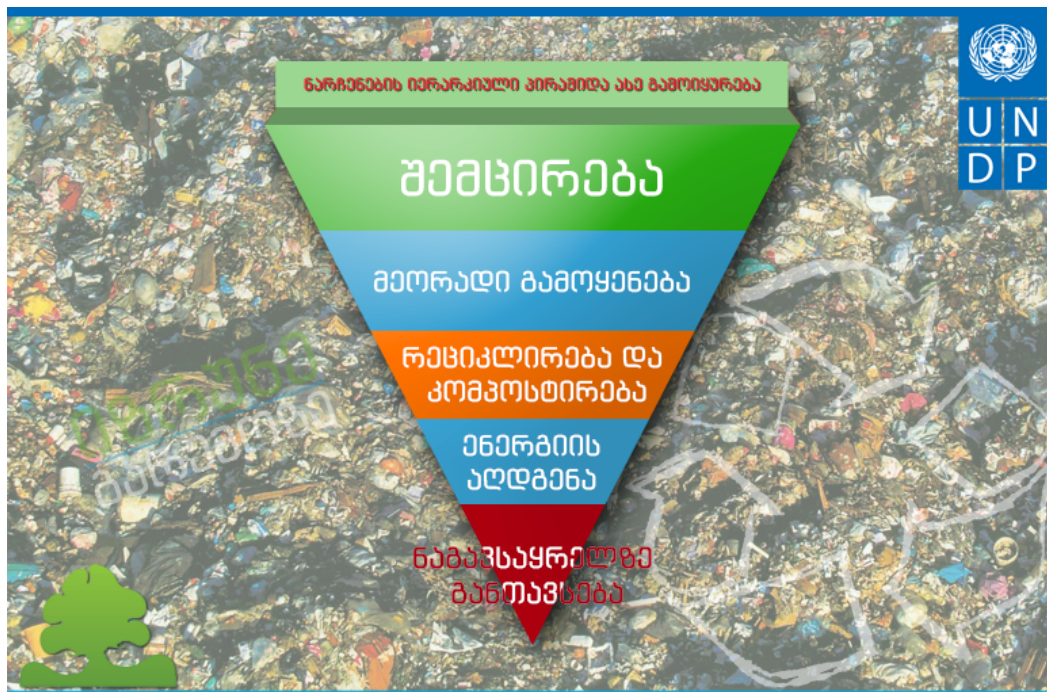
მხრივ ზოგავს ენერჯიას, ამცირებს ჰაერის და წყლის დაბინძურებას (მაგ: ნაგავსაყრელებიდან) და ა.შ.

თანამედროვე ლიტერატურაში უფრო და უფრო ხშირად ჩნდება ტერმინი 4R, რაც გულისხმობს მეოთხე პრინციპს – შეცვლას (Replace), რომელიც მოგვიწოდებს შევცვალოთ ცელოფნის პაკეტი ქაღალდით, პლასტმასის ჭურჭელი – მინით. არ გამოვიყენოთ ერთჯერადი მოხმარების საგნები და ა.შ.

სამწუხაროდ 3R ინიციატივის წარმატებით შესრულების დროსაც კი რჩება ისეთი ნარჩენები, რომლებიც არ ექვემდებარება არც გადამუშავებას და არც ხელახალ გამოყენებას. ამიტომ ნარჩენების მართვის სფეროში 3R მიდგომის გარდა, დამატებითი კომპონენტებიც არსებობს: ენერჯიის აღდგენა (Energy Recovery) და განთავსება (Disposal). ყველა ეს კომპონენტი ერთობლიობაში ქმნის “ნარჩენების იერარქიას”, რომლის საფუძველიც 3R ინიციატივაა.

“ნარჩენების იერარქიის” მთავარ ამოცანას წარმოადგენს ნარჩენების მართვის ისეთი სისტემის ჩამოყალიბება, რომლის მიხედვითაც შესაძლებელი იქნება მაქსიმალური პრაქტიკული სარგებლის მიღება და გარემოსთვის მინიმალური ზიანის მიყენება [27]. დღეისათვის ნარჩენების მართვის იერარქიის მოდელი 5 ძირითადი კომპონენტისგან შედგება: 1. შემცირება 2. ხელახალი გამოყენება 3. რეციკლირება 4. სხვა სახის აღდგენა, მათ შორის ენერჯიის აღდგენა 5. განთავსება (ნახ.1).

ევროპული კანონმდებლობით განსაზღვრულია ნარჩენების მართვის მიდგომები/მოთხოვნები და პრინციპები, რომლის მიხედვითაც, ნარჩენების მართვა უნდა განხორციელდეს გარემოსა და ადამიანის ჯანმრთელობისთვის საფრთხის შექმნის გარეშე. კერძოდ, ისე, რომ საფრთხე არ შეექმნას წყალს, ჰაერს, ნიადაგს, ფლორას და ფაუნას, არ გამოიწვიოს ზიანი ხმაურითა და სუნით, არ მოახდინოს უარყოფითი გავლენა ქვეყნის მთელ ტერიტორიაზე, განსაკუთრებით – დაცულ ტერიტორიებზე და კულტურულ მემკვიდრეობაზე [27].



ნახ.1. ნარჩენების მართვის იერარქია

ნარჩენების თანამედროვე მართვა ხორციელდება შემდეგი პრინციპების გათვალისწინებით:

ა) "უსაფრთხოების წინასწარი ზომების მიღების პრინციპი" – მიღებული უნდა იქნას ზომები გარემოსთვის ნარჩენებით გამოწვეული საფრთხის თავიდან ასაცილებლად, მაშინაც კი, თუ არ არსებობს მეცნიერულად დადასტურებული მონაცემები;

ბ) პრინციპი "დამბინძურებელი იხდის" – ნარჩენების წარმომქმნელი ან ნარჩენების მფლობელი ვალდებულია გაიღოს ნარჩენების მართვასთან დაკავშირებული ხარჯები;

გ) "სიახლოვის პრინციპი" – ნარჩენები უნდა დამუშავდეს ყველაზე ახლოს მდებარე ნარჩენების დამუშავების ობიექტზე, გარემოსდაცვითი და ეკონომიკური ეფექტიანობის გათვალისწინებით;

დ) "თვითუზრუნველყოფის პრინციპი" – უნდა ჩამოყალიბდეს და ფუნქციონირებდეს მუნიციპალური ნარჩენების განთავსებისა და აღდგენის ობიექტების ინტეგრირებული და ადეკვატური ქსელი.

ნარჩენების მართვის იერარქია დროთა განმავლობაში იწვევს მსოფლიოს ნებისმიერი ნარჩენების მართვის სისტემის ეტაპობრივ ცვლილებას. უმეტეს ქვეყნებში ნარჩენების მართვაში ყველაზე გავრცელებული პრაქტიკა წლების განმავლობაში მათი ნაგავსაყრელზე განთავსება იყო. თუმცა, რადგან რესურსები შეზღუდულია, ნარჩენებისადმი დამოკიდებულება რადიკალურად შეიცვალა და ამჟამად ნარჩენები აღიქმება ღირებულ რესურსად.

“დამბინძურებელი იხდის” პრინციპი გარემოსდაცვითი პოლიტიკის ერთერთი ფუნდამენტური პრინციპია. ნარჩენების წარმოქმნელთა წრე ფართოა – მოსახლეობა, მეწარმეები, მომსახურების სექტორი და ა.შ. შესაბამისად, ნარჩენების მართვის ხარჯების, მათ შორის შეგროვების, ტრანსპორტირებისა და დამუშავებულ ხარჯების დაფარვის ვალდებულება ეკისრება თითოეულ დამბინძურებელს [34].

სამთო-მოპოვებითი მრეწველობის შედეგად წარმოქმნილი ნარჩენების საკითხებს არეგულირებს ევროდირექტივა N2006/21/EC “სამთო-მოპოვებითი მრეწველობიდან წარმოქმნილი ნარჩენების მართვის შესახებ, რომლითაც ცვლილებები შედის დირექტივაში N004/35/EC” ეს დირექტივა ითვალისწინებს ზომებს, პროცედურებს და მართვის ღონისძიებებს, რომლებიც მიმართულია სამთო-მოპოვებითი მრეწველობიდან წარმოქმნილი ნარჩენებით გამოწვეული გარემოსა და ადამიანის ჯანმრთელობაზე უარყოფითი ზეგავლენის შემცირებისდაგვარად თავიდან ასაცილებლად ან შესამცირებლად [35-40].

ევროკავშირში გამოიყენება ამ დირექტივის შემდეგი ვალდებულებები:

- ისეთი სისტემის ჩამოყალიბება, რომელიც უზრუნველყოს სამთო-მოპოვებითი ობიექტების ოპერატორების მიერ ნარჩენების მართვის გეგმების შემუშავებას;

- ნარჩენების ობიექტების იდენტიფიკაცია და კლასიფიკაცია;

- სანებართვო, ინსპექტირებისა და ფინანსური გარანტიების სისტემების ჩამოყალიბება;

- სამთო-მოპოვებითი სამუშაოების შედეგად დარჩენილი სიცარიელების (დრმულების) მართვისა და მონიტორინგის პროცედურების შემუშავება;

- სამთო-მოპოვებითი ნარჩენების ობიექტების დახურვისა და დახურვის შემდგომი პროცედურების შემუშავება;

- დახურული სამთო-მოპოვებითი ნარჩენების ობიექტების ინვენტარიზაცია.

საერთაშორისო გამოცდილება ცხადყოფს, რომ ნარჩენების მართვა საკმაოდ რთული პროცესია და მართვის ისეთი სისტემის შექმნა, რომელიც შესაბამისობაში იქნება მსოფლიოს განვითარებული ქვეყნების ანალოგიურ სისტემებთან, წარმოადგენს ხანგრძლივ პროცესს.

## 2. შედეგები და მათი განსჯა

### 2.1. მჟავა კარიერული წყლების შედგენილობის ხარისხობრივი და რაოდენობრივი კვლევები

#### 2.1.1. ატომურ-აბსორბციული სპექტრული ანალიზი

ნაშრომში გადმოცემული ანალიტიკური გაზომვები ძირითადად ჩატარებულია ატომურ-აბსორბციული მეთოდით, რომელიც დაფუძნებულია განსასაზღვრავი ელემენტის ატომების მიერ რეზონანსული ხაზების გამოსხივების სელექტიური შთანთქმის გაზომვაზე [41].

ატომების მიერ სინათლის შთანთქმას თან ახლავს სტაციონარული მდგომარეობიდან მათი გადასვლა უფრო მაღალ ენერგეტიკულ მდგომარეობაში. ამ შემთხვევაში  $E_k > E_i$  - მშთანთქმელი გადასვლა ( $k \rightarrow i$ ) შეინიშნება სინათლის სტანდარტული წყაროდან  $\nu_{ki}$  სიხშირის გარე დასხივების ზემოქმედებისას. გამოსხივებითი გადასვლისას ( $i \rightarrow k$ ) ატომი აღზნებული მდგომარეობიდან გადადის უფრო დაბალ ენერგეტიკულ მდგომარეობაში.

ელემენტის ატომების მიერ სინათლის შთანთქმაზე დასაკვირვებლად გამოსაკვლევი ხსნარი აეროზოლის სახით შეყავთ ალში, რომელშიც გადის განსასაზღვრავი ელემენტის შემცველი ღრუ კათოდიანი ნათურის გამოსხივება. იზომება შთანთქმა, რომელიც შთანთქმამდე და შთანთქმის შემდეგ ალში გასული გამოსხივების ინტენსივობის დამოკიდებულების შესაბამისია.

ალში შთანთქმის სიდიდე დამოკიდებულია ქვედა დონის დასახლებაზე. სისტემაში თერმოდინამიკური წონასწორობის პირობებში დონეების დასახლება განისაზღვრება ბოლცმანის განტოლებით:

$N_i = N_0(g_i/g_0)\exp(-E_i/kT)$ , სადაც -  $N_i$  არის  $E_i$  ენერგეტიკულ დონეზე აღზნებულ მდგომარეობაში მყოფი ატომების რიცხვი;  $N_0$  - ატომების რიცხვი ძირითად დონეზე;  $g_i$  და  $g_0$  -  $i$ -ური და ძირითადი მდგომარეობების სტატისტიკური წონები;  $k$  - ბოლცმანის მუდმივა;  $T$  - ორთქლის აბსოლუტური ტემპერატურა.

2000-დან 3000°C-მდე ალის ტემპერატურისას მრავალი ელემენტის აღზნებული ატომების რიცხვი უმნიშვნელოდ და მცირედ იცვლება ტემპერატურასთან ერთად. ემისიურ-სპექტრულ ანალიზში ტემპერატურის მცირე ცვლილება მნიშვნელოვნად ცვლის აღზნებული ატომების კონცენტრაციას და სპექტრული ხაზების ინტენსივობას. აბსორბციულ მეთოდში რეზონანსური ხაზების ალში შთანთქმის უნარის უნარის მქონე ატომების რიცხვი პრაქტიკულად უტოლდება განსასაზღვრავი ელემენტის საერთო რიცხვს და მცირედ იცვლება ტემპერატურის ცვლილებასთან ერთად. ამაში მდგომარეობს ატომ-აბსორბციული მეთოდის ერთერთი უპირატესობა ემისიურ ანალიზთან შედარებით [42].

ატომური შთანთქმა ხასიათდება ალის I სიგრძეზე დამოკიდებულებით გატარებული I სინათლის ინტენსივობის კლების ექსპონენციალური კანონით. ალში ატომებით სინათლის შთანთქმის კანონი ანალოგიურია მოლეკულურ სპექტროფოტომეტრიაში სინათლის შთანთქმის კანონისა:

$$I = I_0 e^{-k_v I C},$$

სადაც  $I_0$  და  $I$  ნივთიერებაზე დაცემული და გატარებული სინათლის კონის ინტენსივობაა;  $k$  -  $v$  სიხშირეზე დამოკიდებული სინათლის შთანთქმის კოეფიციენტი;  $I$  - ატომების მშთანთქმელი ფენის სიგრძე;  $C$  - მშთანთქმელი ატომების კონცენტრაცია.

სინათლის ატომური შთანთქმის უოლშის და სხვა მკვლევარების მიერ შემოთავაზებული გაზომვის მეთოდის გამოყენებისას ზომავენ  $I_0/I$  სიდიდეს. ამ სიდიდეს უწოდებენ  $D$  ოპტიკურ სიმკვრივეს, შესაბამისად:

$$D = I_0/I = k_v I C,$$

შთანთქმის სიდიდის ატომების კონცენტრაციაზე დამოკიდებულების თეორიული გათვლა ჯერჯერობით შეუძლებელია, ამიტომ ხდება ექსპერიმენტალური მონაცემების მიხედვით ხელსაწყოს ჩვენებების გრადუირება. ხსნარში ელემენტის კონცენტრაციის

განსაზღვრისას სტანდარტული ხსნარების სერიის გამოყენებით წინასწარ აგებენ საგრადუირო გრაფიკს D-C კოორდინატებში.

გარე ელემენტების მიერ შთანთქმაზე გავლენის არარსებობისას, ასევე განსაზღვრავი ელემენტების დაბალი კონცენტრაციისას ნარჩუნდება კონცენტრაციაზე ოპტიკური სიმკვრივის სწორხაზოვანი დამოკიდებულება. კონცენტრაციაზე ოპტიკური სიმკვრივის ხაზოვანი დამოკიდებულება შეიძლება დაიღვეს ალის არაერთგვაროვნობის შედეგად. თუ  $I_0$  და  $I$  - სინათლის ინტენსივობებია ალში შთანთქმამდე და შთანთქმის შემდეგ, ხოლო  $i$  - ალის არააბსორბირებულ ზონაში გასული სინათლის ინტენსივობა, მაშინ შთანთქმის გაზომვისას მივიღებთ:

$$\lg \frac{I_0 + i_0}{I + i_0} \text{ ნაცვლად } \lg \frac{I_0}{I} \text{-სა}$$

ხოლო საგრადუირო გრაფიკი ასიმპტოტურად მიუახლოვდება  $\lg |1 + i_0/i_0|$  სიდიდეს, ანუ გრაფიკი გამრუდდება აბსცისათა ღერძის მიმართ.

### 2.1.2. ანალიტიკური ხაზები

ატომურ-აბსორბციულ ანალიზში ხდება ქვედა არააღზნებულ მდგომარეობაში გადასვლის შესაბამისი მეტნაკლებად მგრძობიარე ხაზების გამოყენება. სინათლის მონოქრომატული კონის შთანთქმის ხაზის დამახასიათებელი შთანთქმის  $k$  კოეფიციენტი უნდა იყოს მოცემული გადასვლისათვის ოსცილატორის  $f$  ძალისა და ქვედა დონეზე  $N_N$  გადასვლისას მშთანთქმელი ატომების კონცენტრაციის პროპორციული:

$$k_v \sim N_i f$$

ექსპერიმენტალურად დადგენილია, რომ შთანთქმაში მეტნაკლებად მგრძობიარე ხაზები ხშირად არ ემთხვევა ემისიურ სპექტრულ ანალიზში გამოყენებული ელემენტების მეტნაკლებად ინტენსიურ ხაზებს. გამოსხივებაში მეტად ინტენსიურს წარმოადგენს რეზონანსური ხაზები ტალღის დიდი სიგრძით. მეტად შთანთქმაში მეტად მგრძობიარე ხაზები მდებარეობს მეტნაკლებად ინტენსიური გამოსხივების რეზონანსული ხაზების მოკლეთალღოვან ზონაში ან ემთხვევა მას. ამგვარად, კობალტის

240.7 ნმ აბსორბციული ხაზი შთანთქავს 50-ჯერ უფრო ძლიერად, ვიდრე კობალტის 352.7 ნმ მეტნაკლებად ინტენსიური ემისიური ხაზი. უმეტესობა ელემენტების მეტნაკლებად ძლიერი აბსორბციული ხაზები განლაგებულია 300.0-200.0 ნმ საზღვრებში, რაც არსებითად ამარტივებს ანალიზის ატომურ-აბსორბციულ მეთოდს [42].

### 2.1.3. ატომების მშთანთქმელი ფენის მიღება

ატომურ-აბსორბციულ ანალიზში მეტნაკლებად მნიშვნელოვან როლს წარმოადგენს საანალიზო ნიმუშის "ატომიზაცია", ანუ ნივთიერების გადაყვანა მდგომარეობაში, რომელშიც განსასაზღვრავი ელემენტები იმყოფებიან სინათლის შთანთქმის უნარის მქონე თავისუფალი ატომების სახით. მშთანთქმელი ფენების მიღების ცნობილი ხერხები შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად: პირველ ჯგუფს მიეკუთვნება წონასწორული მეთოდები (ალი და განმუხტვა ღრუ კათოდში), მეორეს ჯგუფს კი - იმპულსური მეთოდები (გრაფიტის კიუვეტი, იმპულსური ნათურა და ლაზერული ამორთქლებელი).

ალი წარმოადგენს ხსნარის ატომურ ორთქლად ქცევის მეტნაკლებად გავრცელებულ და მოსახერხებელ საშუალებას. ალში სინჯი შეიყვანება საანალიზო ნივთიერების ხსნარის პნევმატური შეფრქვევის გზით. ატომიზაცია მოიცავს რამდენიმე სტადიას: სინჯის აორთქლება, ორთქლის ლოკალიზაცია, მოლეკულების დისოციაცია და ა.შ. ნებისმიერი ნაერთის აორთქლება და დისოციაცია შესაძლებელია მხოლოდ საკმარისად მაღალი - 2000-3000C<sup>0</sup> რიგის ტემპერატურისას. ალში განსასაზღვრავი ელემენტის წონასწორობითი კონცენტრაცია მიიღწევა ალში შეფრქვევის ხსნარის უწყვეტ ნაკადად გატარების გზით.

სინჯების ატომიზაციის პნევმატური მეთოდებიდან მკვლევარებისთვის დიდი ინტერესის საგანს წარმოადგენს ლვოვის მიერ კონსტრუირებული მაღალტემპერატურული ღუმელი. იგი შედგება გრაფიტის ცილინდრული ღუმლისგან (მილისგან), რომლის შიდა ნაწილი



დაფარულია ტანტალიუმის ამაღლამით. სინჯი თავსდება ელექტროდის გვერდითა ზედაპირზე [41].

არგონის ატმოსფეროში მომუშავე გრაფიტის კიუვეტის (ღუმლის) გაცხელება ხორციელდება ელექტროკონტაქტური მეთოდით. რამდენადაც სინჯი ორთქლდება უჟანგბადო გარემოში, ამიტომ ამ შემთხვევაში არ ხდება თერმოგამძლე ჟანგეულების წარმოქმნა.

ღვოვის გრაფიკული კიუვეტი საშუალებას იძლევა განსაზღვრულ იქნას მრავალი ელემენტი მაღალი რიგის მგრძობიარობით  $n \cdot 10^{-11}$ -  $n \cdot 10^{-12}$  გ. 1% აბსორბციისას. მეთოდი იძლევა ხსნარების და მყარი ფხვნილისმაგვარი მასალების ანალიზის საშუალებას [42].

#### **2.1.4. ატომურ-აბსორბციული ანალიზის შედეგებზე გავლენის მქონე ფაქტორები**

ატომურ-აბსორბციული განსაზღვრისას ელემენტების სპექტრული ხაზების ზედდების ალბათობა პრაქტიკულად გამორიცხულია (აბსორბირებული ხაზების მცირე რიცხვის გამო). ეს, ბუნებრივია უნდა მივაკუთვნოთ მეთოდის ღირსებებს. შემფოთებები ანალიზის ატომურ-აბსორბციულ მეთოდში მსგავსია ალის ემისიური ფოტომეტრიისთვის დამახასიათებელი შემფოთებებისა.

1. ალში აეროზოლის გავლისას მდგრადი ქიმიური ნაერთების არასრულმა დისოციაციამ შეიძლება ხელი შეუშალოს ატომურ მდგომარეობაში ელემენტის გადასვლას. ალში MeO, MeOH და სხვა რთულად დისოცირებადი ნაერთების წარმოქმნასთან დაკავშირებული შემფოთებების თავიდან აცილება მიიღწევა აეროზოლის დისპერსიულობის გაზრდით და ალის ტემპერატურის ამაღლებით. მაგ: ალის ტემპერატურის ამაღლება შესაძლებელია აღმდგენი თვისებების მქონე საწვავი ნარევის აცეტილენ-აზოტის ქვეჟანგის გამოყენებით. ასეთი ნარევის ტემპერატურა დაახლოებით  $6000\text{C}^{\circ}$ -ით მეტია ჰაერ-აცეტილენის ალის ტემპერატურაზე.

2. იონიზაციური შემფოთებები. სხვადასხვა ტიპის ალში ელემენტების იონიზაციის დონე არაა მუდმივი და მჭიდროდაა დაკავშირებული მის ტემპერატურასთან. ასე, მაგალითად, ჰაერ-აცეტილენის ალში კალციუმის იონიზაციის ხარისხი 3% ტოლია, ხოლო უფრო მაღალ ტემპერატურაზე (აზოტის ქვეყანგი-აცეტილენის ალში) იგივე პირობებში კალციუმის იონიზაციის ხარისხი შეადგენს 43%. იონიზაციის დასახშობად გამოსაკვლევ ხსნარში და ეტალონებში ამატებენ ადვილად იონიზირებადი მეტალების (ცეზიუმის მარილები, რუბიდიუმი, კალიუმი) ტოლ რაოდენობებს.

3. ხსნარის ფიზიკური თვისებების გავლენა. ხსნარების დაშლის ეფექტურობა დამოკიდებულია ზედაპირულ დაჭიმულობაზე, ხსნარის სიბლანტეზე და სიმკვრივეზე. ზედაპირული დაჭიმულობის შემცირება ხელს უწყობს შესაფრქვევი ხსნარის ხარჯის გაზრდას.

ატომურ-აბსორბციული გაზომვების შედეგებზე ხსნარის ფიზიკური თვისებების გავლენის ასაცილებლად აუცილებელია ძირითადი ნივთიერების და გამხსნელის შედგენილობის შეთანხმება ნიმუშებსა და ეტალონებში.

## **2.2. მჟავა კარიერული წყლების შედგენილობის კვლევების შედეგები და ანალიზი**

მადნეულის საბადოს ბარიტოპოლიმეტალური მადნის ქანების გადამუშავებისას წარმოიქმნება მჟავა კარიერული წყლები (მკწ), რომელნიც თავისი შედგენილობით მიეკუთვნებიან სულფატური კლასის მარილოვან წყლებს და მათი დებიტი და შედგენილობა წელიწადის დროზე დამოკიდებულებით მერყეობს ფართო საზღვრებში. მათ ფორმირებაზე ბუნებრივ გავლენას ახდენს ატმოსფერული ნალექები, ტემპერატურა,

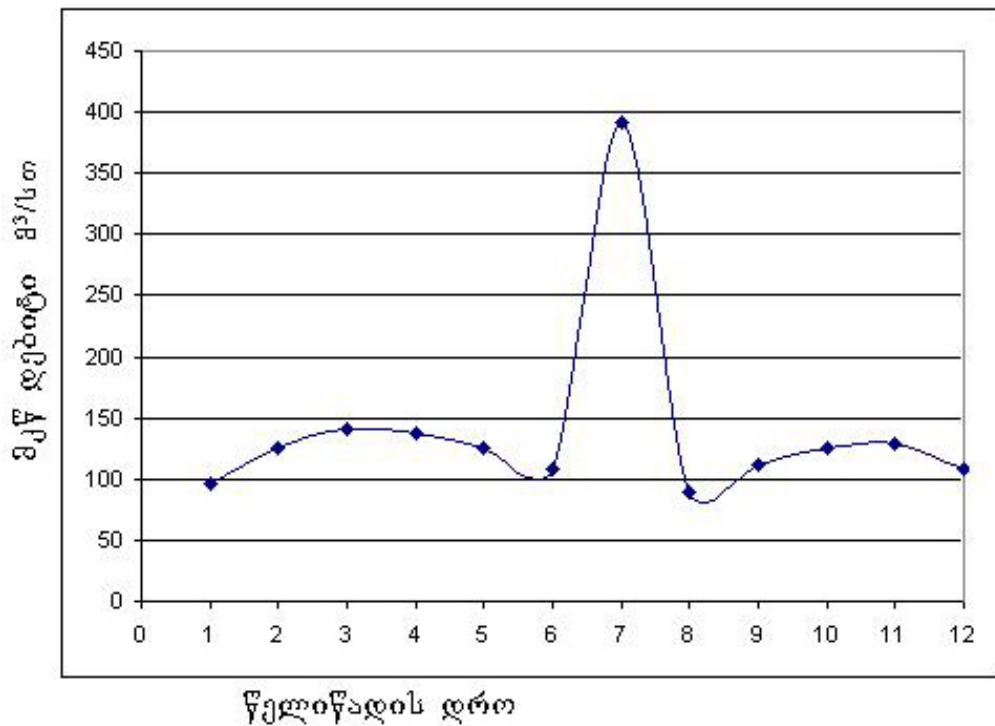
აორთქლება, მადნიდან მეტალების ბუნებრივი გამოტუტვის სიჩქარე, კატიონური მიმოცვლა და რიგი სხვა ფაქტორებისა.

ცხრილი 1. მადნეულის საბადოს მჟავა კარიერული წყლების (მკწ) დებიტის (მ<sup>3</sup>/სთ), მჟავიანობის და შედგენილობის (მგ/მ<sup>3</sup>) ცვლილება

N	თარიღი	მკწ დებიტი მ <sup>3</sup> /სთ	pH	Cu	Fe	Zn	Pb	Co	Ni	Cd	Ge
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	15.06.10	109	2.60	1150	982	561	0.47	1.18	0.92	3.1	0.11
2	15.07.10	392	2.55	1379	996	622	0.49	1.00	1.10	3.4	0.17
3	15.08.10	90	2.55	1331	1003	637	0.57	1.03	1.23	3.5	0.16
4	15.09.10	111	2.60	1271	899	593	0.50	0.88	0.96	3.1	0.1
5	15.10.10	126	2.70	1109	840	510	0.49	0.79	0.81	2.8	-
6	15.11.10	128	2.70	1017	827	496	0.47	0.66	0.81	2.7	-
7	15.12.10	109	2.65	1119	960	549	0.51	1.04	1.12	3.0	-
8	15.01.11	96	2.65	1212	881	607	0.61	0.96	1.09	3.4	0.11
9	15.02.11	125	2.75	1050	802	493	0.35	0.84	0.91	2.6	-
10	15.03.11	140	2.80	960	773	457	0.31	0.81	0.70	2.4	-
11	15.04.11	138	2.80	950	761	461	0.28	0.82	0.72	2.2	-
12	15.05.11	126	2.75	997	787	509	0.37	0.87	0.93	2.7	0.10

კარიერული წყლები, იკვებებიან რა ატმოსფერული ნალექების ხარჯზე, მნიშვნელოვნად იცვლიან მოცულობებს წელიწადის დროზე დამოკიდებულებით. (ცხრილი 1, ნახ. 2).

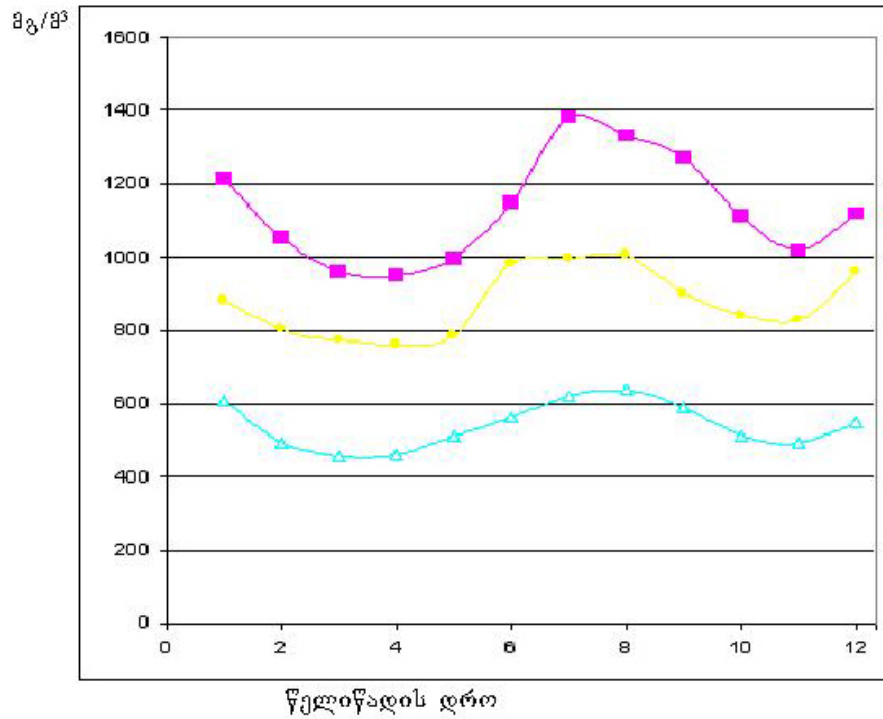
გარე ქანებში მადნიდან მეტალების ბუნებრივი გამოტუტვის ცვალებად სიჩქარეს და ცვალებად კატიონურ მიმოცვლას მივყავართ კარიერული წყლების მარილოვანი შედგენილობის (ნახ.2) და მძიმე მეტალების იონების კონცენტრაციის (ნახ.3, ნახ.4) მუდმივ ცვლილებასთან.



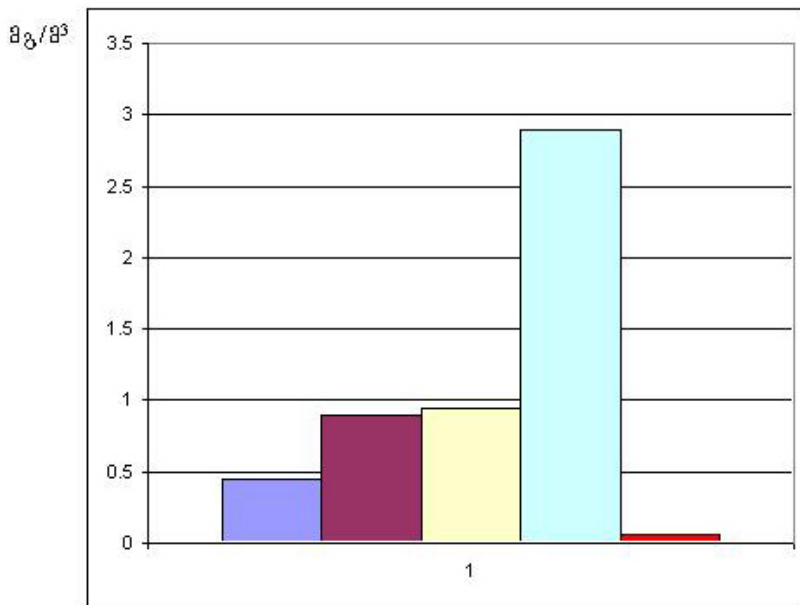
ნახ. 2. მადნეულის საბადოს კარიერული წყლების დებიტის ცვლილების წელიწადის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი

გარემოს ეროვნული სააგენტოს გარემოს დაბინძურების მონიტორინგის დეპარტამენტის მიერ წყლის დაბინძურებაზე დაკვირვების და ზედაპირული წყლების დაბინძურების ხარისხის შესწავლის საფუძველზე შედგენილ წელიწადეულში წარმოდგენილია გარემოს დაბინძურების მონიტორინგის დეპარტამენტის ლაბორატორიების მიერ საქართველოს ტერიტორიაზე ზედაპირულ წყლებზე ჩატარებული ქიმიური და მიკრობიოლოგიური ანალიზების შედეგები[43].

2015 წელს სულ საქართველოში აღებული იქნა 876 ზედაპირული წყლის სინჯი. აქედან შავი ზღვის აუზის 27 მდინარის 46 კვეთზე - 352 სინჯი, კასპიის ზღვის აუზის 34 მდინარის 64 კვეთზე - 476 სინჯი, 6 ტბისა და 2 წყალსაცავის 18 კვეთზე - 30 სინჯი და აგრეთვე საბანაო სეზონის დროს თბილისის ზღვის, ლისისა და კუს ტბების 3 კვეთში აღებული იქნა 18 სინჯი.



ნახ. 3. მჟავა კარიერულ წყლებში კატიონების კონცენტრაციის ცვლილების წელიწადის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი  
 ■ Cu ; ● Fe; △ Zn



ნახ. 4 მჟავა კარიერულ წყლებში კატიონების კონცენტრაციის ცვლილების წელიწადის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი (მოყვანილია საშ. წლიური მნიშვნელობები).  
 ■ Pb; ■ Co; ■ Ni; ■ Cd; ■ Gr

აღებულ წყლის სინჯებში ისაზღვრებოდა ფიზიკურ-ქიმიური პარამეტრები, მთავარი იონები, ბიოგენური ნაერთები, ჟანგბადის ბიოლოგიური მოხმარება, pH, სინთეტიკური ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები, მძიმე ლითონები და სხვა. ზოგიერთ სინჯში დგინდებოდა ასევე მიკრობიოლოგიური დაბინძურებაც.

მდ. მაშავერა - მდ. მაშავერას წყალზე დაკვირვება წარმოებდა 7 კვეთზე: მაშავერა ზედა და მაშავერა ქვედა, ქ. ბოლნისთან, ქ. დმანისთან, ს. დიდ დმანისთან, ს. კიანეთთან და ს. ხიდისყურთან. სულ აღებული იქნა 51 სინჯი.

მდ. კაზრეთულა - მდ. კაზრეთულას წყალზე დაკვირვება წარმოებდა 1 კვეთზე დ. კაზრეთთან. სულ აღებული იქნა 12 სინჯი.

კარიერული წყლების დინებაზე ატმოსფერული ნალექების გარდა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს რელიეფის მორფოლოგიურ-ტექტონიკური ფაქტორები, წყალგამტარი ჰორიზონტების დინამიკური რეჟიმი, მათი კავშირი და ზედაპირულ წყლებთან ურთიერთქმედება.

რელიეფი ახდენს ნაკადების ფორმირებას და წყლის მიმოცვლას ახდენს გავლენას ბუნებრივი და ტექნოგენური წყლების მარილოვან შედგენილობაზე. სამთო ნამუშევრებზე წყლის დიდი მასების მოდინება დაკავშირებულია რაიონის ტექტონიკის თავისებურებებთან. ტექტონიკური რღვევების ზონებში ინტენსიურად ვითარდება სხვადასხვა წყალგამტარი ჰორიზონტების ჰიდრაულიკური კავშირი.

მუდმივად წარმოქმნადი კარიერული ნაკადების ხარისხობრივ და თვისობრივ შედგენილობაზე წლიური დაკვირვება ნებას გვაძლევს მოცემულ წყლებს მივცეთ მეორადი ტექნოგენური ჰიდრომინერალური რესურსების კლასიფიკაცია, რომელთა გადამუშავება (გაწმენდა) საშუალებას მოგვცემს შევამციროთ ფერადი მეტალების შეუქცევადი დანაკარგები, შემცირდეს სამთო გამამდიდრებელი კომბინატების

ნაყარქვეშა მიწის გასავალი, შემცირდეს გარემომცველი გარემოს დაბინძურება როგორც თხევადი, ასევე მყარი ნარჩენებით.

### **2.3. ექსპერიმენტები მოდელორ და რეალორ ხსნარებზე**

#### **2.3.1. მოდელორი ხსნარების დამზადება**

მოდელორ ხსნარებზე კვლევების ჩასატარებლად დამზადდა მოდელორი ხსნარები, რომელიც შეიცავდა 1.4გ/ლ სამვალენტოან რკინას, 1.0გ/ლ სპილენძს, 1.2გ/ლ თუთიას.

#### **2.3.2. სპილენძის, რკინის და თუთიის კატიონების თვისებების დამოკიდებულების ზოგიერთი კანონზომიერება სულფიდ-იონების კონცენტრაციაზე და ხსნარის pH-ზე**

სულფიდ-იონის შეყვანა ხსნარში ხდებოდა ცხრაწყოლიანი ნატრიუმის სულფიდის 20%-იანი ხსნარის სახით.

ცხრილებში მოყვანილია ხსნარის pH-ის სიდიდეზე და შეყვანილი სულფიდ-იონების რაოდენობაზე სპილენძის, რკინის და თუთიის კატიონების კონცენტრაციის ცვლილების დამოკიდებულების მონაცემები.

როგორც 2. ცხრილიდან ჩანს მოდელორ ხსნარებში ნატრიუმის სულფიდის შეყვანისას ხსნარის pH-ის ზრდასთან ერთად ილექება სპილენძის, რკინის და თუთიის იონები, ამასთან სპილენძის საკმაოდ სრული დალექვა მიიღწევა pH= 4.0 სიდიდისას, ხოლო თუთიის დაახლ. pH=7.0-ზე.

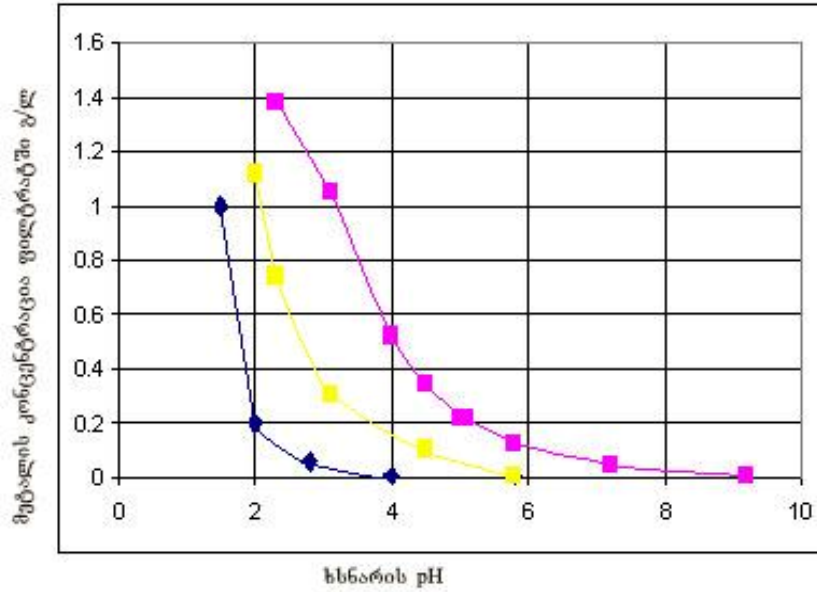
ცხრილი 2. მოდელურ ხსნარებში მეტალთა იონების შემცველობის (გ/ლ) ცვლილების დამოკიდებულება გარემოს pH-ზე

ხსნარის pH	მეტალების იონების კონცენტრაცია გ/ლ		
	Fe <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
1.5	-	1.00	-
2.0	-	0.20	1.12
2.3	1.38	-	0.74
2.8	-	0.06	-
3.1	1.10	-	0.31
4.0	0.52	0.01	-
4.5	0.35	-	0.11
5.0	0.22	-	-
5.1	0.22	-	-
5.8	0.13	<0.01	<0.01
7.2	0.05	<0.01	<0.01
9.2	<0.01	-	-

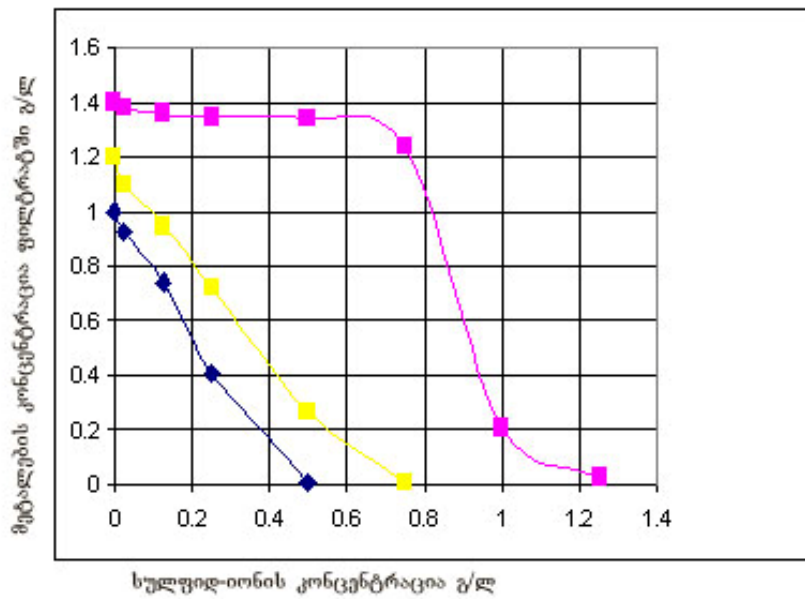
ცხრილი 3. მოდელურ ხსნარებში მეტალების იონების შემცველობის ცვლილების დამოკიდებულება შეყვანილი სულფიდ-იონის რაოდენობაზე

სულფიდ-იონის კონცენტრაცია გ/ლ	მეტალების იონების კონცენტრაცია გ/ლ		
	Fe <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
0	1.40	1.00	1.20
0.025	1.38	0.93	1.10
0.125	1.36	0.74	0.95
0.250	1.35	0.41	0.72
0.500	1.34	<0.01	0.27
0.750	1.24	<0.01	<0.01
1.000	0.21	<0.01	<0.01
1.250	0.03	<0.01	<0.01





ნახ. 5. ხსნარში მეტალების იონების კონცენტრაციის pH-ის სიდიდეზე დამოკიდებულება  
 ■ Fe ■ Zn; ■ Cu



ნახ. 6. ხსნარში მეტალების იონების კონცენტრაციის დამოკიდებულება შეყვანილი სულფიდ-იონის რაოდენობაზე  
 ■ Fe; ■ Zn; ■ Cu

2. და 3. ცხრილების მონაცემები ილუსტრირებულია ნახ. 5 და 6-ზე.

ხსნარებიდან სპილენძის და თუთიის სულფიდ-იონებით დალექვა ხდებოდა სტექიომეტრულ დამოკიდებულებით (MeS), ამ სულფიდების წარმოქმნის რეაქციის შესაბამისად. გვერდითი რეაქციების (მაგ. ჰიდროლიზი) შედეგად რკინის დალექვა მიმდინარეობს უფრო რთული მექანიზმით, ამასთან დალექვის პროცესის დასრულებისას რკინის დამოკიდებულება სულფიდ-იონზე შეესაბამება ნაერთს  $Me_2S_3$ .

გამოყოფილ ნაერთებში მეტალის კონცენტრაციის დამოკიდებულება სულფიდ-იონის კონცენტრაციაზე გამოთვლების მონაცემებთან შედარებით მოყვანილია 4 ცხრილში.

ცხრილი 4. ხსნარში სულფიდ-იონების დამატებისას გამოყოფილ ნალექებში სულფიდი/მეტალის გათვლითი დამოკიდებულება

მეტალების სულფიდები	გამოთვლითი დამოკიდებულება (S/Me)	მიღებულ ნალექებში S/Me დამოკიდებულება
$Fe_2S_3$	$96/112=0.85$	$1250/1400=0.89$
ZnS	$32/65=0.49$	$650/1200=0.54$
CuS	$32/64=0.50$	$500/1000=0.50$

როგორც 4 ცხრილიდან ჩანს, გათვლითი გზით მიღებული და გამოყოფილ ნალექებში აღმოჩენილი სულფიდი/მეტალი დამოკიდებულებები პრაქტიკულად ერთგვარია, რაც მიუთითებს ნალექში მეტალების სულფიდების და არა სხვა რაიმე შერეული ნაერთების გამოყოფაზე.

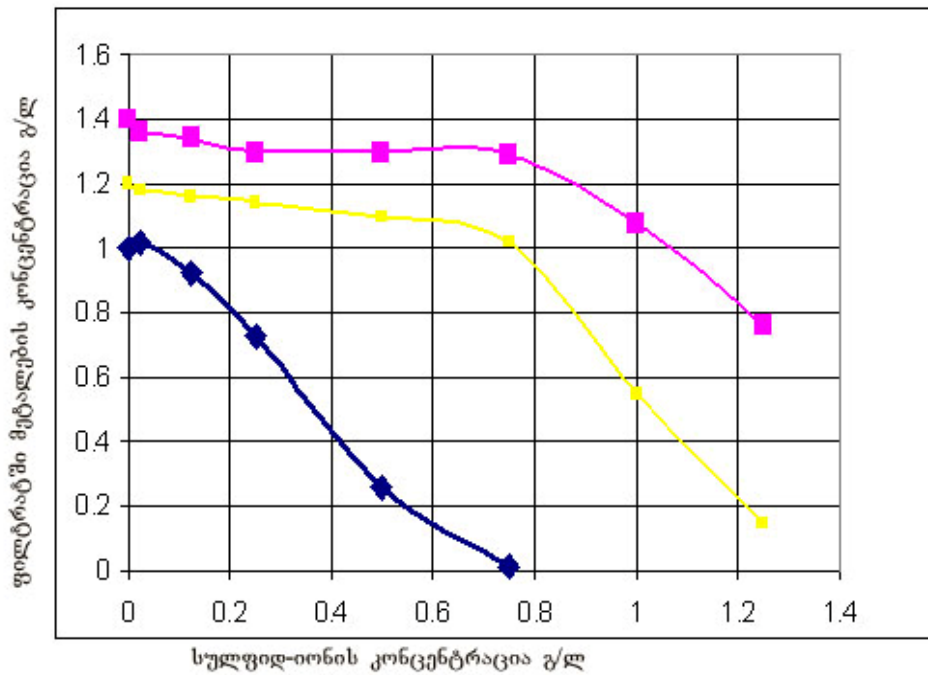
### 2.3.3. კატიონების დალექვის კანონზომიერების შესწავლა

#### მრავალკომპონენტური სისტემაში

მრავალკომპონენტური სისტემაში კატიონების დალექვის კანონზომიერების შესასწავლად დამზადებულ იქნა შემდეგი შედგენილობის (გ/ლ) ხსნარი:  $Fe^{3+}$  1.4;  $Cu^{2+}$  1.0;  $Zn^{2+}$  1.2

ცხრილი 5. მოდელურ ხსნარებში მეტალთა იონების შემცველობის (გ/ლ) ცვლილების დამოკიდებულება შეყვანილი სულფიდ-იონის რაოდენობაზე

სულფიდ-იონის კონცენტრაცია გ/ლ	მეტალების იონების კონცენტრაცია გ/ლ		
	Fe <sup>3+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
0	1.40	1.00	1.20
0.025	1.36	1.02	1.18
0.125	1.34	0.92	1.16
0.250	1.30	0.73	1.14
0.500	1.30	0.26	1.10
0.750	1.29	<0.01	1.02
1.000	1.08	<0.01	0.55
1.250	0.76	<0.01	0.15



ნახ. 7. ნარევში ინდივიდუალური მეტალის იონების კონცენტრაციის შეყვანილი სულფიდ-იონის რაოდენობაზე დამოკიდებულება.  
■ Fe ■ Zn; ■ Cu

ნახ. 7-ზე მოცემულია შერეულ ხსნარში ყოველი ცალკეული ელემენტის დალექვის შეყვანილი სულფიდ-იონის კონცენტრაციაზე დამოკიდებულების კანონზომიერებანი. როგორც წარმოდგენილი მონაცემებიდან ჩანს, წარმოდგენილი შედეგები თანხვედრაშია იმ მონაცემებთან, რომლებიც მიღებულ იქნა ყოველი ამ ელემენტის დალექვისას ხსნარებიდან გარეშე კომპონენტების არარსებობისას.

### **2.3. დალექვის პირობების გავლენა კარიერულ წყლებში ფაზათა განშრევების სიჩქარეზე, ნალექის ტენიანობასა და მოცულობის სიდიდეზე**

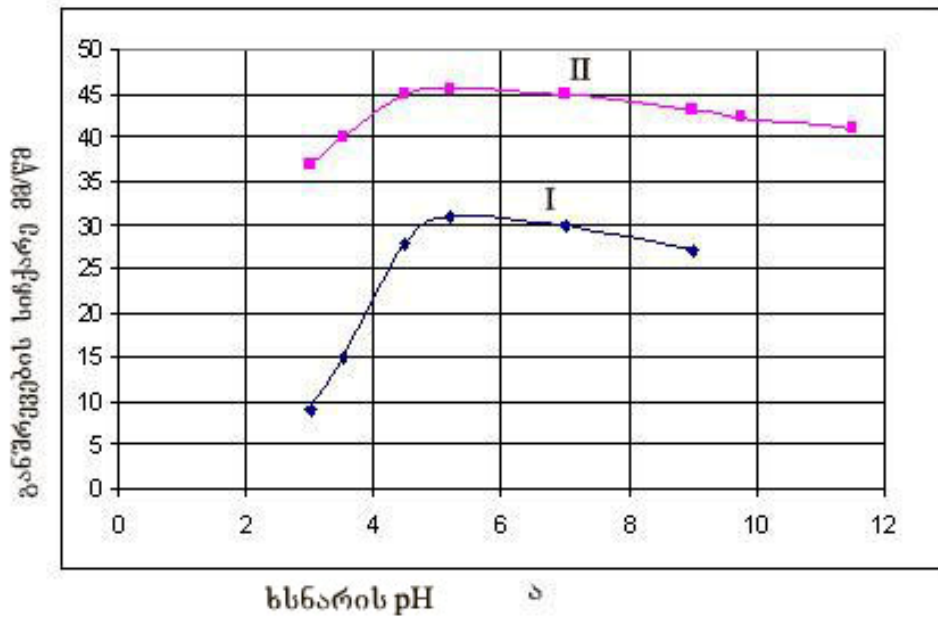
დალექვის პროცესის ოპტიმალური რეჟიმის შესარჩევად შესწავლილია კარიერულ წყლებში ფაზათა განშრევების სიჩქარის, გამოყოფილი ნალექის მოცულობის და ტენიანობის დამოკიდებულება ხსნარში შეყვანილი ნატრიუმის სულფიდის რაოდენობასა და ხსნარის pH-ზე [44].

ნახაზებზე 8-10 ნაჩვენებია რეალურ ხსნარში განშრევების სიჩქარის (ა), გამოყოფილი ნალექების მოცულობის (ბ) და ტენიანობის (გ) დამოკიდებულება ხსნარის pH-ზე.

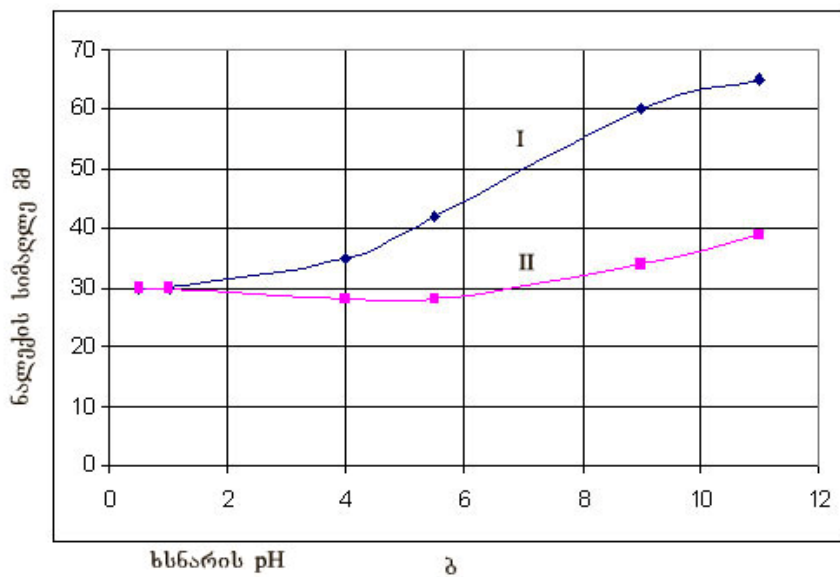
ვინაიდან სისტემიდან მეტალების დასალექად ასევე შეიძლება გამოყენებულ იქნას კირი, ამიტომ ვახდენთ პროცესის მეტნაკლებად მნიშვნელოვანი პარამეტრების შედარებას (ფაზების განშრევების სიჩქარე, ნალექების მოცულობა და ტენიანობა) დამლექის სახით კირიანი რძის და ნატრიუმის სულფიდის გამოყენების შემთხვევაში. ნახაზებზე წარმოდგენილია ანალოგიური დამოკიდებულებანი დამლექის სახით კალციუმის ჰიდროჟანგის გამოყენების შემთხვევაში [44].

ნახ. 8-ზე ნაჩვენებია ფაზების განშრევების სიჩქარის დამოკიდებულება სისტემის pH-ის მნიშვნელობაზე დამლექის სახით კალციუმის

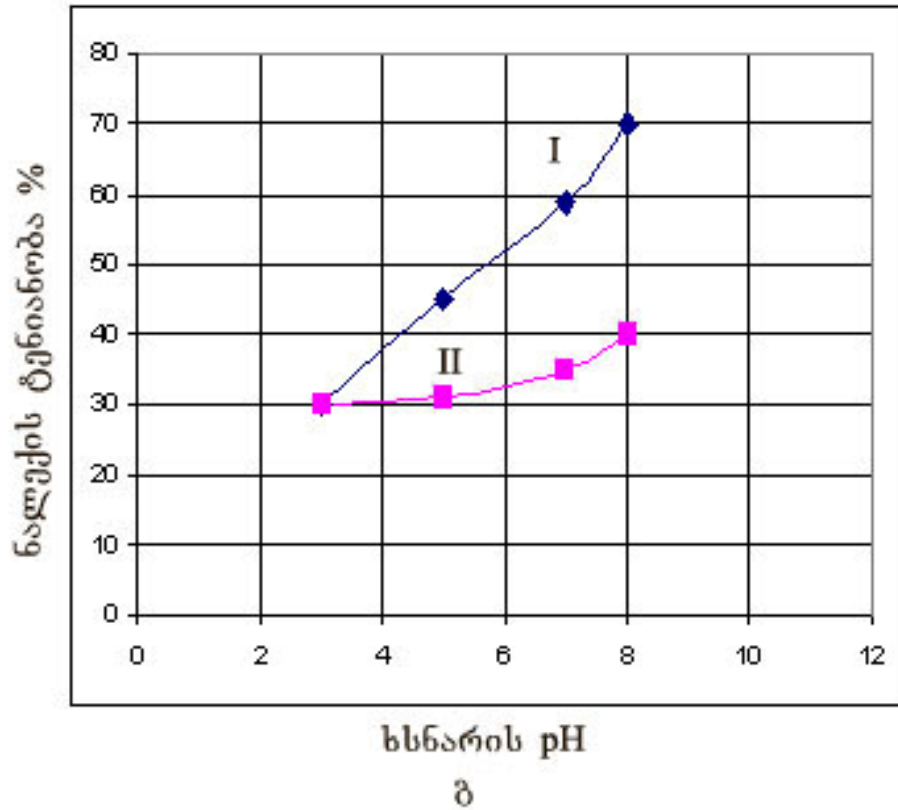
ჰიდროჟანგის (I მრუდი) და ნატრიუმის სულფიდის (II მრუდი) გამოყენების შემთხვევაში.



ნახ. 8. რეალურ ხსნარში განშრევების სიჩქარის ხსნარის pH-ზე დამოკიდებულება. დამლევი: I- კალციუმის ჰიდროჟანგი; II - ნატრიუმის სულფიდი



ნახ. 9. რეალურ ხსნარში გამოყოფილი ნალექების მოცულობის ხსნარის pH-ზე დამოკიდებულება. დამლევი: I- კალციუმის ჰიდროჟანგი; II- ნატრიუმის სულფიდი



ნახ. 10. რეალურ ხსნარში გამოყოფილი ნალექების ტენიანობის ხსნარის pH-ზე დამოკიდებულება.  
 დამლექი: I- კალციუმის ჰიდროჟენი; II- ნატრიუმის სულფიდი

როგორც ნახაზიდან ჩანს, ნატრიუმის სულფიდის არსებობისას ნალექის დალექვის სიჩქარე ორჯერ აღემატება ანალოგიურ სიდიდეს სისტემაში კალციუმის ჰიდროჟენის არსებობისას. ცხადია, რომ განშრეების სიჩქარის მომატება სასიკეთოდ აისახება შლამსაცავის ეფექტურ ექსპლოატაციაზე.

განმსაზღვრელ მაჩვენებლად, რომელზეც დამოკიდებულია შლამსაცავის მუშაობის ხანგრძლივობა, გვევლინება წარმოქმნილი ნალექების მოცულობა და ტენიანობა. ამიტომ, ინტერესს იწვევს ხსნარის pH-ის გავლენა გამოყოფილი ნალექის მოცულობის სიდიდეზე. მოცემული დამოკიდებულება გამოკვლეული დამლექებისთვის წარმოდგენილია ნახ. 9-ზე.

დამლექის სახით ნატრიუმის სულფიდის გამოყენებისას დალექვის pH-ის ოპტიმალური სიდიდე შეადგენს 4.5-5. კირიანი რძის გამოყენებისას დალექვისთვის pH-ის ოპტიმალური სიდიდე შეადგენს 7-8. ამ დროს ნალექის სახით დიდი მოცულობით გამოიყოფა მეტალების ჰიდროქსიდები, რომლებიც, როგორც ცნობილია წარმოადგენენ მყიფე, ჰიდროფილურ ნაერთებს, რასაც მივყავართ შლამსაცავის არარაციონალურ გამოყენებამდე.

ნალექის ტენიანობა - შემდგომი გამოყენებისთვის საკმაოდ არსებითი მაჩვენებელია. დალექვის ოპტიმალურ რეჟიმში (pH 7-8) კალციუმის ჰიდროქსიდის გამოყენებისას წარმოქმნილი ნალექის ტენიანობა შეადგენს დაახლოებით 60% (ნახ. 10, I მრუდი), ხოლო დამლექის სახით ნატრიუმის სულფიდის გამოყენებისას (pH 4.5-5) დაახლოებით 38% (ნახ. 10, II მრუდი).

ამგვარად, მნიშვნელოვანი მაჩვენებლების მიხედვით, დამლექის სახით ნატრიუმის სულფიდის გამოყენება უფრო მომგებიანია, ვიდრე კირიანი რძისა, ამასთან იგი გვაძლევს შლამსაცავის მუშაობის პირობების გაუმჯობესების საშუალებას [2-6,44].

### 3. შემუშავებული ტექნოლოგიის დანერგვის შესაძლებლობის შეფასება

მძიმე მეტალების იონებისგან კარიერული წყლების გაწმენდის ტექნოლოგიური სქემის შერჩევას პრიორიტეტულს წარმოადგენს ზემოთხსენებული წყლების ღრმა გაწმენდა და მიღებული ნალექების გამოყენების შესაძლებლობა. გადამწყვეტი მნიშვნელობა გააჩნია გაწმენდის ერთიანი ტექნოლოგიური სქემის შემუშავებას, ამასთან განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს ამ მიზნისთვის ბარიუმის ფლოტოკონცენტრატის გამოყენების შესაძლებლობის დადგენა, ვინაიდან იგი დაგროვილია დიდი რაოდენობით და დღემდე ვერ ჰპოვებს საჭირო გამოყენებას.

დასაწყობებული ბარიუმის ნაერთების სრული და რაციონალური გამოყენებისათვის კარიერული წყლების გაწმენდის ძირითად პროცესთან კომპლექსში გამოკვლეული იქნა ბარიტული ფლოტაციური კონცენტრატის ბაზაზე ბარიუმის ნაერთების და დამლექი რეაგენტის მიღების შესაძლებლობა. ამასთან, ჰიდრომეტალურგიული გადამუშავების პირველ სტადიაზე ფლოტობარიტისთვის მეტნაკლებად ეფექტურს და ეკონომიურად ხელსაყრელს წარმოადგენს მდულარე შრის პირობებში კონცენტრატის აღდგენითი გამოწვა აირადი აღმდგენელების გამოყენებით ( $H_2$ ,  $CO$ ) [45-47].

ბარიტ-პოლიმეტალური მადნის გადამუშავების ტექნოლოგიური სქემის წარმოდგენილ ვარიანტს, რომელსაც საფუძველად უდევს მასალის წინასწარი აღდგენითი გამოწვა, გააჩნია პრაქტიკული განხორციელების რეალური საფუძველი (ნახ.11). მადნეულის საბადოში სელექციური გამდიდრებისადმი ძნელად დაქვემდებარებადი ბარიტის მადნის დიდი მარაგის არსებობა განსაზღვრავს საწყისი მადნის ფლოტაციური გამდიდრების სქემის და მდულარე შრის პირობებში მასალის აღდგენითი გამოწვის ჩართვით, ბლანფიქსის და დამლექი რეაგენტის შემდგომი



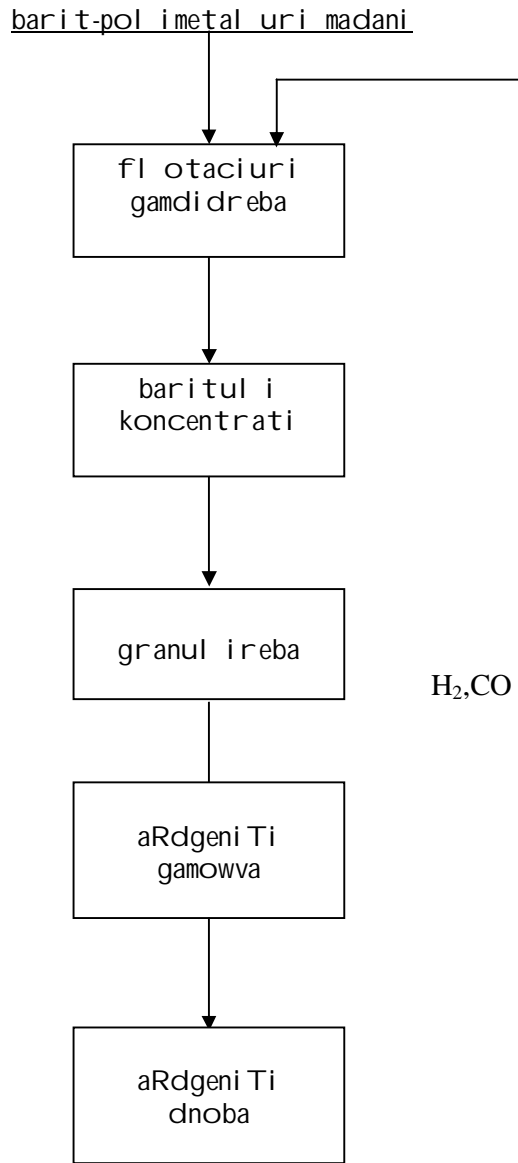
მიღებით, დაბალხარისხოვანი მადნის ჰიდრომეტალურგიული მეთოდით გადამუშავების მიზანმიმართულობას.

ბარიტული ფლოტაციური კონცენტრატების გადამუშავება წარმოადგენს დამოუკიდებელ საკითხს, თუმცა მას გააჩნია პირდაპირი დამოკიდებულება კარიერული წყლების გაწმენდის ტექნოლოგიის შემუშავებასთან. პოლიმეტალური მადნის ღარიბმა და რთულმა შედგენილობამ გამოიწვია ამ მიმართულებით კვლევების ჩატარების აუცილებლობა [48-59].

პრაქტიკაში ბარიტის აღდგენა ძირითადად ხორციელდება მბრუნავ ღუმლებში მყარი აღდგენის გამოყენებით 1100-1200C<sup>0</sup>-ზე, რაც დაკავშირებულია მრავალ სირთულესთან: ღუმლებში არ მიიღწევა სითბოს თანაბარი გადანაწილება მთელ სარეაქციო არეში და მეტად გაცხელებულ ზონებში მიმდინარეობს კაზმის შედნობა, ხდება გვერდითი პროცესების ინტენსიფიკაცია, რასაც მივყავართ ბარიუმის სულფიდის გამოსავლის შემცირებამდე და ბარიუმის წყალში უხსნადი ნაერთების წარმოქმნამდე. ძირითადად ეს სირთულები ვლინდება სილიციუმის მაღალი შემცველობის მქონე (13-15%) დაბალხარისხიანი ბარიტული ფლოტოკონცენტრატების აღდგენისას, რაც წარმოადგენს მცირედისპერსული და დაბალხარისხიანი ბარიტული კონცენტრატის აღდგენის პროცესის სრულყოფის მეთოდების კვლევის მიზეზს [60-67].

ჩატარებული კვლევებით დადასტურდა, რომ ბარიტული კონცენტრატის გამოწვის პროცესის გაუმჯობესების ერთერთ საშუალებათაგანს წარმოადგენს აღდგენა მდულარე შრის ღუმლებში აირადი აღმდგენლებით (H<sub>2</sub>, CO) [45-47, 68-69]. ამ დროს მიღებულ ბარიუმის სულფიდს გააჩნია გამოყენების ფართო სპექტრი, იგი წარმოადგენს ნედლეულს ბარიუმის სხვა შენაერთების, მათ შორის ბლანფიქსის და დამლექი რეაგენტის - ნატრიუმის სულფიდის მისაღებად. მდულარე შრეში აღდგენის დადებით მხარეს წარმოადგენს პროცესის ტემპერატურა (850-950C<sup>0</sup>), ბარიუმის სულფიდში ბარიტის მაქსიმალური გადაყვანის და

ინტენსიფიკაციის შესაძლებლობა. გარდა აღნიშნულისა, მნიშვნელოვანია ისიც, რომ პროცესი არაა დამოკიდებული საწყის ნედლეულში კაჟმიწის ამაღლებულ შემცველობაზე (13-15%), ვინაიდან ტემპერატურის მითითებულ ინტერვალში (850-950C°) არ ხდება კაჟმიწის შეცხობა.



ნახ. 11. ბარიტ-პოლიმეტალური მადნის გადამუშავების ტექნოლოგიური სქემა

შემოთავაზებული სქემით მდულარე შრის პირობებში აირადი აღმდგენლებით ბარიტული ფლოტოკონცენტრატის აღდგენისას

მნიშვნელოვნად იზრდება აღდგენილი მასის გამოსავალი (92%-მდე) საკმაოდ დაბალ ტემპერატურაზე (850-950C<sup>0</sup>), ხოლო ნაღობში ბარიუმის სულფიდის შემცველობა იზრდება 62%-დან 74%-მდე.

ამგვარად, მდულარე შრის გამოყენებისას ღუმლებში ტემპერატურა 250C<sup>0</sup>-ით იკლებს და მცირდება ფლოტობარიტში არსებული კაჟმიწის უარყოფითი გავლენა, მცირდება ბარიუმის შლამის რაოდენობა, რაც შედეგად განაპირობებს მასში სტრონციუმის შენაერთების კონცენტრირებას.

ღარიბი ბარიტული ფლოტოკონცენტრატების გადამუშავების შემუშავებული ვარიანტის არსებულთან შედარებისას უნდა აღინიშნოს, რომ შემოთავაზებულ ტექნოლოგიაში პროცესის ძირითადი მაჩვენებლების მონაცემების მიხედვით საწყისი ნედლეულიდან მიზნობრივი პროდუქტის ამოღება მაღალია და აღემატება 90%-ს, რაც მეტყველებს განხილული ტექნოლოგიის გამოყენების მიზანმიმართულებაზე.

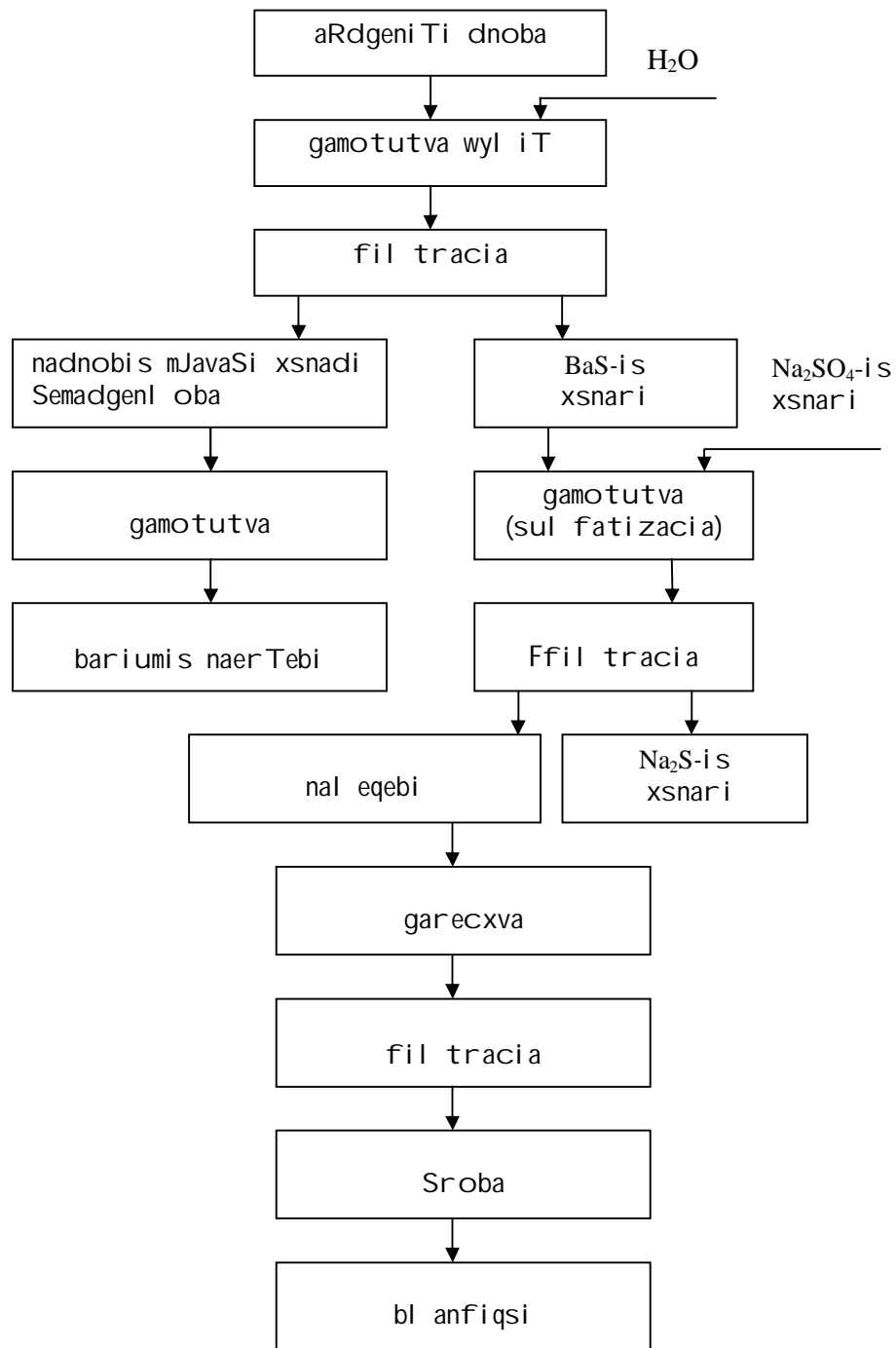
ფლოტობარიტის გადამუშავების შემოთავაზებული მეთოდი, გარდა დაბალხარისხიანი ბარიტული მადნის გამოყენებისა, ასევე ახდენს ისეთი საჭირო პროდუქტების წარმოების ორგანიზაციის საკითხების გადაწყვეტას, როგორებიცაა ბლანფიქსი და დალექი ნატრიუმის სულფიდი (ნახ.12)

გამოწვა- გამოტუტვის შეკრულ ციკლში ხდება აღდგენითი გამოწვით მიღებული ნაღობის გამოტუტვა. ნაღობის წყალში ხსნადი ნაწილის გამოტუტვა ხორციელდება ორ სტადიად: პირველ სტადიაზე ხდება წყლით გამოტუტვა BaS-ის ხსნარის მიღებით (კონცენტრაცია 118-120გ/ლ), ამასთან გამოიყენება წინაღდენის მეთოდი, რომელიც უზრუნველყოფს 99.5%-იანი ამოღებას. მეორე სტადიაზე ხდება ბარიუმის სულფიდის და ნატრიუმის სულფატის ხსნარების არევა, რომლის დროსაც წარმოიქმნება ბლანფიქსის ნალექი და ნატრიუმის სულფიდის ხსნარი კონცენტრაციით 50-52გ/ლ. გამოტუტვის პირველი სტადიის (წყლით გამოტუტვა) შემდეგ მიღებული ნალექები გადაიგზავნება მჟავურ გამოტუტვაზე (HCl) ნაღობის წყალში უხსნად ნაწილში არსებული ბარიუმის დამატებითი ნაერთების მისაღებად [82-85, 87].

საწყისი ბარიტის ნედლეულის შედგენილობაზე დამოკიდებულებით მჟაური შლამების შედგენილობა და გამოსავალი განსხვავებულია. შლამების რაოდენობა შეადგენს 25-27%-ს და ძირითადად შეიცავს სილიკატებს, ასევე 10% სტრონციუმს, ბარიუმის მინიმალური შემცველობისას (2-3%) [72-75]. იმ გარემოების გათვალისწინებით, რომ სტრონციუმის მადნს მარაგები შეზღუდულია, ხოლო სტრონციუმის ნაერთებზე მოთხოვნა იზრდება, მსგავსი ნარჩენები შეიძლება მივაკუთვნოთ ნახევარპროდუქტების კატეგორიას და ისინი შეიძლება განხილულ იქნას, როგორც ნედლეული სტრონციუმის ნაერთების მისაღებად. რაც გულისხმობს პროცესის პირველ სტადიაზე მდიდარი სტრონციუმის კონცენტრატის მიღებას გამდიდრების პროცესის გამოყენებით.

ამგვარად, შემუშავებულია ფლოტობარიტის აღდგენის შედეგად მიღებული ნაღობის შემადგენელი წყალში უხსნადი კომპონენტების ორსტადიანი გამოტუტვის ტექნოლოგიური სქემა, რომლის პროცესშიც წარმოიქმნება მაღალხარისხიანი დამოუკიდებელი პროდუქტი - ბლანფიქსი და ნატრიუმის სულფიდის ხსნარი, რომელიც გამოიყენება კარიერული წყლების გასაწმენდად. გამოტუტვის პროცესში უზრუნველყოფილია საწყისი ნედლეულის გამოყენების კომპლექსურობა, მინიმუმამდე მცირდება ნარჩენების რაოდენობა, რაც მიუთითებს შემუშავებული სქემის პრაქტიკული განხორციელების რეალურ შესაძლებლობაზე.

მძიმე მეტალების იონებისგან კარიერული წყლების გასაწმენდად გამოყენებულია ფლოტობარიტის აღდგენითი გამოწვის შემდეგ მიღებული ნაღობის წყალში ხსნადი ნაწილის გამოტუტვის პირველი და მეორე სტადიის შემდეგ მიღებული სულფიდური ხსნარები (BaS, Na<sub>2</sub>S).



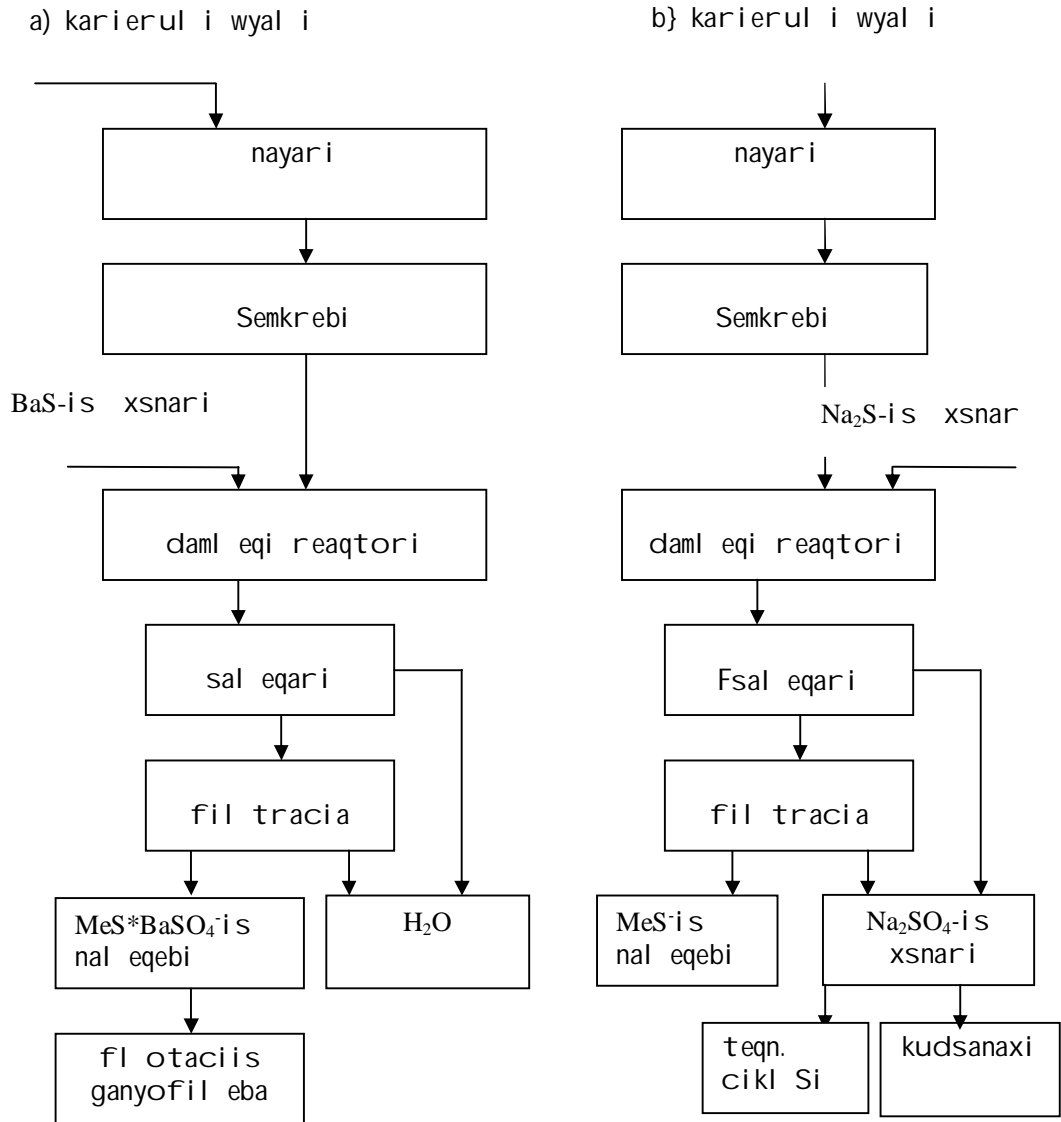
ნახ. 12. ბარიტ-პოლიმეტალური მადნის აღდგენის შედეგად მიღებული აღდგენილი ნადნობის გამოტუტვის სქემა

მიღებული შედეგების თანახმად, ნატრიუმის და ბარიუმის ჰიდროსულფიდების სტექიომეტრიული რაოდენობის შეყვანისას არ მიიღწევა მჟავა და მცირედმჟაური ხსნარების გაწმენდა მძიმე მეტალების იონებისგან. გაწმენდის აუცილებელი ხარისხის მისაღწევად საჭიროა სტექიომეტრიულ რაოდენობაზე 8-10%-ით მეტი რეაგენტის რაოდენობა.

ამგვარად, მიღებული შედეგების ანალიზით ვადგენთ, რომ მყარი ფაზის დალექვის შემდეგ ხსნარში მძიმე მეტალების იონების შემცველობა პირდაპირ დამოკიდებულებაშია შესაბამისი სულფიდების ხსნადობის ნამრავლთან. pH 4.2-4.5-ზე დამუშავების მოცემულ პირობებში მიიღწევა გაწმენდა აუცილებელ სანიტარულ ნორმამდე. pH-ის მითითებული სიდიდე მიიღწევა თავად დამლექი რეაგენტებით (BaS, Na<sub>2</sub>S), რომელთაც ჰიდროლიზის შედეგად გააჩნიათ ძლიერი ტუტე რეაქცია (pH 10-12).

გაწმენდას დაქვემდებარებულ ხსნარებში რეაქციაში შეუსვლელი სულფიდური გოგირდის შემცველობის შესამცირებლად გამოიყენება მეთოდი, რომლის არსი მდგომარეობს გასაწმენდ მჟავა კარიერულ წყლებში ჰიდროსულფიდების სტექიომეტრიულ რაოდენობასთან ერთად ახლადდალექილი მძიმე მეტალების სულფიდების სუსპენზიების დამატებაში. ეს მეთოდი იძლევა მყარი ფაზის წარმოქმნის ინდუქციური პერიოდის და სულფიდური ნალექების კოაგულაციის და წარმოქმნის დროის შემცირების საშუალებას. მიღებული შედეგები მოწმობენ გაწმენდის ეფექტურობის მნიშვნელოვან ზრდას. გაწმენდილ სამრეწველო წყლებში მძიმე მეტალების იონების შემცველობა აღწევს ზდკ-ზე დაბალ მნიშვნელობას, რაც დამტკიცებულია ლაბორატორიული ცდებით [49-55].

სულფიდური დამლექი რეაგენტების (BaS, Na<sub>2</sub>S) გამოყენებით კარიერული წყლების გაწმენდის ტექნოლოგიური სქემიდან (ნახ.13; ა.ბ.) ნათლად ჩანს, რომ უზრუნველყოფილია ხსნარების ღრმა გაწმენდა მძიმე მეტალების იონებისგან.



ნახ. 13. მძიმე მეტალების იონებისგან მჟავა კარიერული წყლების გაწმენდის სქემა  
 ა) დამლექად BaS-ის გამოყენების შემთხვევაში  
 ბ) დამლექად Na<sub>2</sub>S-ის გამოყენების შემთხვევაში

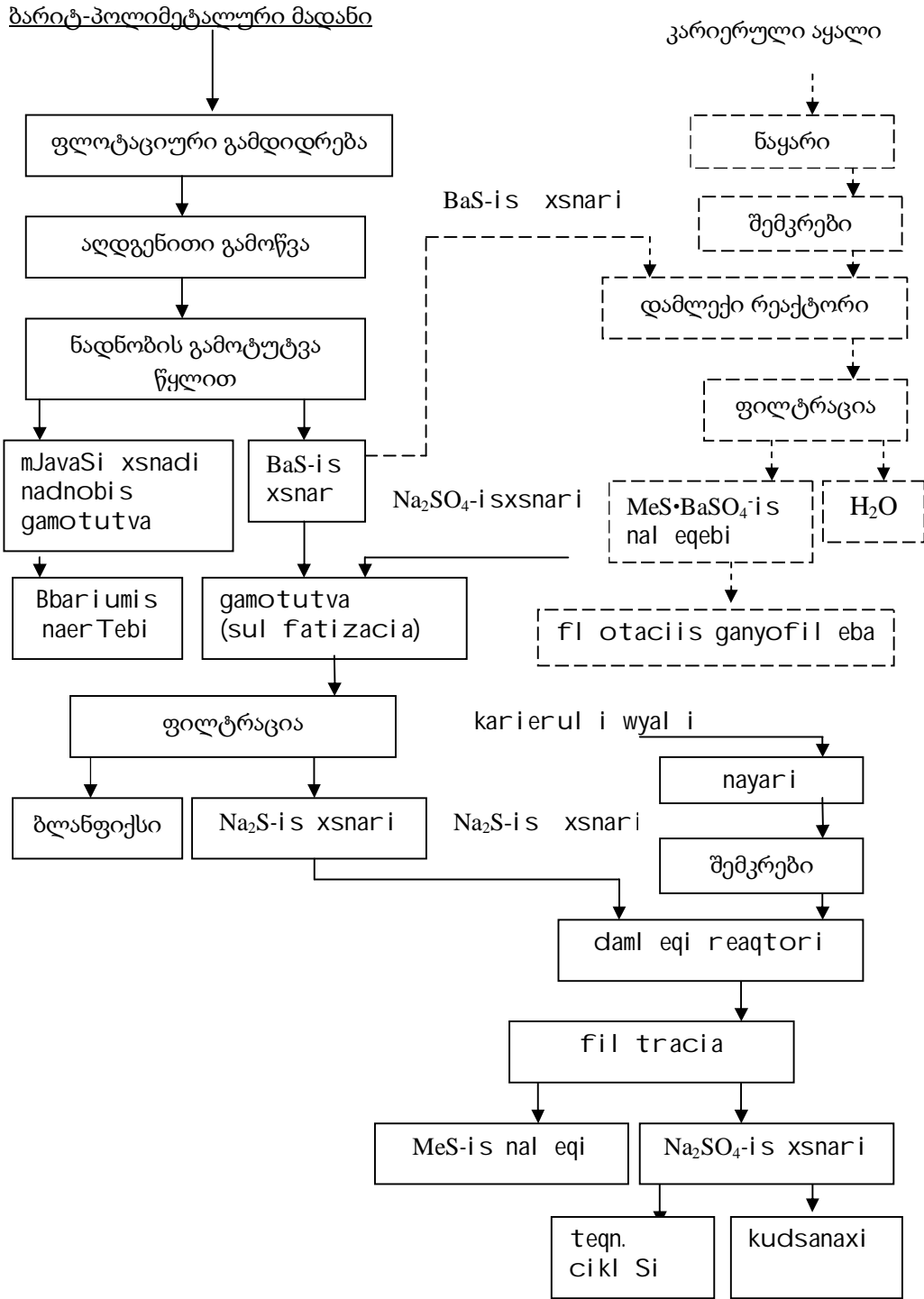
დამლექის სახით ბარიუმის სულფიდის გამოყენება ნაკლებად მიზანშეწონილია, ვინაიდან კარიერული წყლების გაწმენდის შედეგად მიღებული ნალექები მძიმე მეტალების სულფიდების გარდა, შეიცავენ ასევე ბარიუმის სულფატსაც. მათი შემდგომი გამოყენება გართულებულია. ამასთან არ ხდება ფასეული პროდუქტის - ბლანფიქსის მიღება. დამლექად ნატრიუმის სულფიდის გამოყენება უფრო მომგებიანია. ტექნოლოგიურ სქემას გააჩნია მნიშვნელოვანი რენტაბელობა, ვინაიდან

უზრუნველყოფილია საჭირო პროდუქტის - ბლანფიქსის მიღება, ხოლო ნატრიუმის სულფიდის გამოყენებისას ამოღებული მძიმე მეტალები ერთგვაროვანია, სულფიდური შედგენილობისაა და სრულიად გამოსადეგია შემდგომი გამოყენებისთვის. საწარმოს ტექნოლოგიის მიხედვით (გამდიდრების პროცესი ან დამატება სპილენძის ნალღობზე) სულფიდური ნალექების გამოკვლევის შედეგებმა დაადასტურა მათი ნედლეულად გამოყენების შესაძლებლობა ფერადი მეტალების (სპილენძი, თუთია) დამატებითი რაოდენობის მისაღებად.

კარიერული წყლების გაწმენდის არსებული მეთოდის (ცემენტაციის გზით სპილენძის ამოღება მძიმე მეტალების იონებისგან შემდგომი გაწმენდით) შეცვლა სულფიდური ნაერთების (BaS, Na<sub>2</sub>S) საშუალებით გაწმენდის სულფიდური მეთოდით ხელს უწყობს პროცესის ინტენსიფიკაციას და ამალღებს გაწმენდის ხარისხს, რაც მნიშვნელოვნად გააუმჯობესებს ეკოლოგიურ სიტუაციას რეგიონში. ეს მიუთითებს გაწმენდის შემუშავებული მეთოდის პერსპექტიულობაზე სპილენძ-ბარიტული მადნის საერთო ტექნოლოგიურ ციკლში.

ნახ.14-ზე მოყვანილია მჟავა კარიერული წყლების გაწმენდის საერთო ტექნოლოგიური სქემა, რომელიც ითვალისწინებს ბარიტული მადნის გამოყენებას, რომლის გადამუშავების შედეგად ხდება ფასეული პროდუქტების (ბლანფიქსი, ფერადი მეტალების დამატებითი რაოდენობა) და სულფიდური ნაერთების (BaS, Na<sub>2</sub>S) მიღება, რომლებიც გამოიყენება როგორც დამლექი რეაგენტები მძიმე მეტალების იონებისგან ტექნოგენური წყლების ღრმა გაწმენდისთვის [1-5].





ნახ. 14. კარიერული წყლების გაწმენდის საერთო სქემა, დამყარებული ბარიტ-პოლიმეტალური მადნის გამოყენებაზე

ჩატარებული კვლევების და მიღებული შედეგების მიხედვით შეიძლება დავასკვნათ, რომ მძიმე მეტალების იონებისგან კარიერული

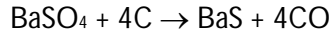
წყლების გაწმენდის შემუშავებული ტექნოლოგია წარმოადგენს ეკონომიურად და ეკოლოგიურად მომგებიან პროცესს, რომლის რეალიზება მოგვცემს საშუალებას:

- მოხდეს მძიმე მეტალების იონებისგან კარიერული წყლების გაწმენდა ზღვ-ზე დაბალ მნიშვნელობამდე
- გამოყენებულ იქნას ბარიტ-პოლიმეტალური საბადოს დასაწყობებელი მარაგი
- მრეწველობაში ჩაერთოს ფერადი მეტალების (სპილენძი, თუთია) დამატებითი რაოდენობა
- რაციონალურად იქნას გამოყენებული რესურსები
- მივიღოთ ფასეული სასაქონლო პროდუქტი – ბლანფიქსი
- უტილიზებულ იქნას ბარიტ-პოლიმეტალური საბადოს გადამუშავების ყველა ნარჩენები, ნაპოვნია ამ ნარჩენების გამოყენების სფეროები
- რეგიონში გაუმჯობესდეს ეკოლოგიური მდგომარეობა.

### 3.1. ბარიტული ფლოტოკონცენტრატის აღდგენა

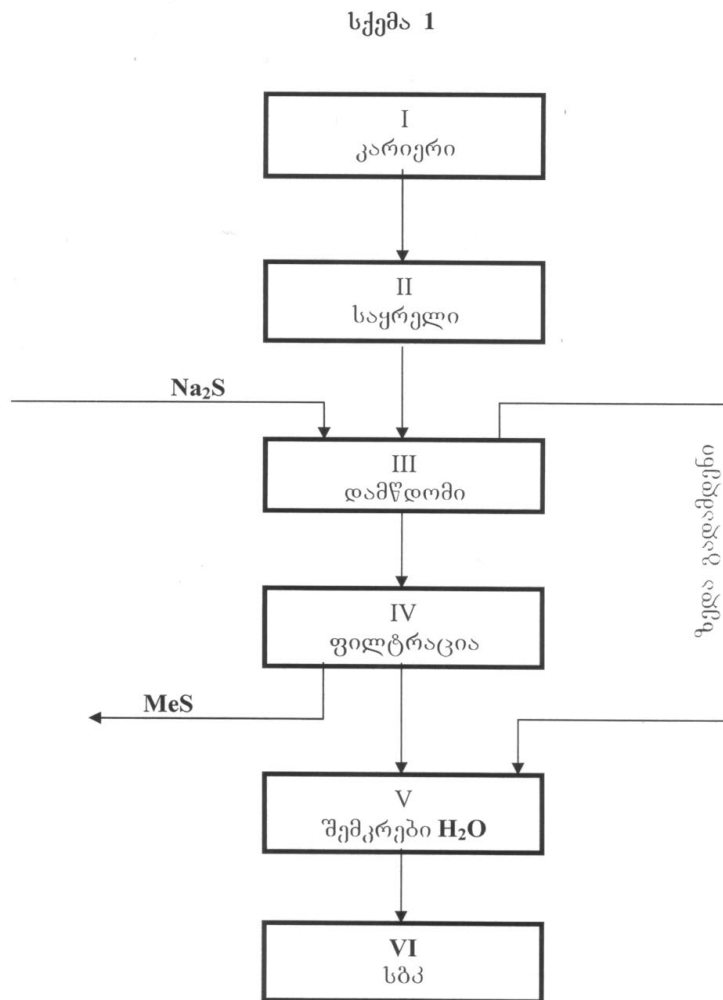
ბარიუმის შემცველი ნედლეულის გადამუშავების ცნობილი მეთოდებიდან ძირითადად გამოირჩევა ბარიტის აღდგენა  $BaS$ -მდე და ამ უკანასკნელის გადაყვანა ბარიუმის სხვადასხვა ნაერთებში და სხვადასხვა ქლორაგენტებით ბარიტული ნედლეულის ქლორირება  $BaCl_2$ -ისა და მისი წარმოებულების მიღებით. დიდ ინტერესს იწვევს ასევე ბარიტის გადაყვანა  $BaOH$ -სა და  $BaCl_2$ -ში [20, 33, 72].

ლიტერატურაში გვხვდება სხვადასხვა, ზოგჯერ ურთიერთსაწინააღმდეგო მსჯელობები მყარი და გაზისებრი ( $CO$ ,  $H_2$ ) აღმდგენლებით ბარიტის აღდგენის პროცესის შესახებ. მაგალითად, ვარაუდობენ, რომ უკვე  $800^{\circ}C$  ტემპერატურის დროს ხდება მყარი აღმდგენლის კონტაქტი სულფატთან და მიმდინარეობს აღდგენა:



მყარ აღმდგენლებთან ნარევი და ნახშირორჟანგის თანაობისას სულფატების აღდგენისას შემჩნეულია, რომ სულფიდების მაღალტემპერატურული აღდგენისას  $\text{CO}_2$  ინერტულს არ წარმოადგენს. შემდგომმა კვლევებმა აჩვენა, რომ ბარიუმის სულფატის აღდგენა აიხსნება არა სულფატში მყარი ნახშირის დიფუზიით, არამედ, ნახშირის დაჟანგვის გაზისებრი პროდუქტების ხარჯზე. ამ ჰიპოთეზის განვითარებამ აჩვენა, რომ სულფატების ნახშირით აღდგენის პროცესი მიმდინარეობს ნახშირის ოქსიდის ხარჯზე [49-60].

მკვ გაწმენდის შემოთავაზებული სქემა მოცემულია ნახ. 15-ზე.

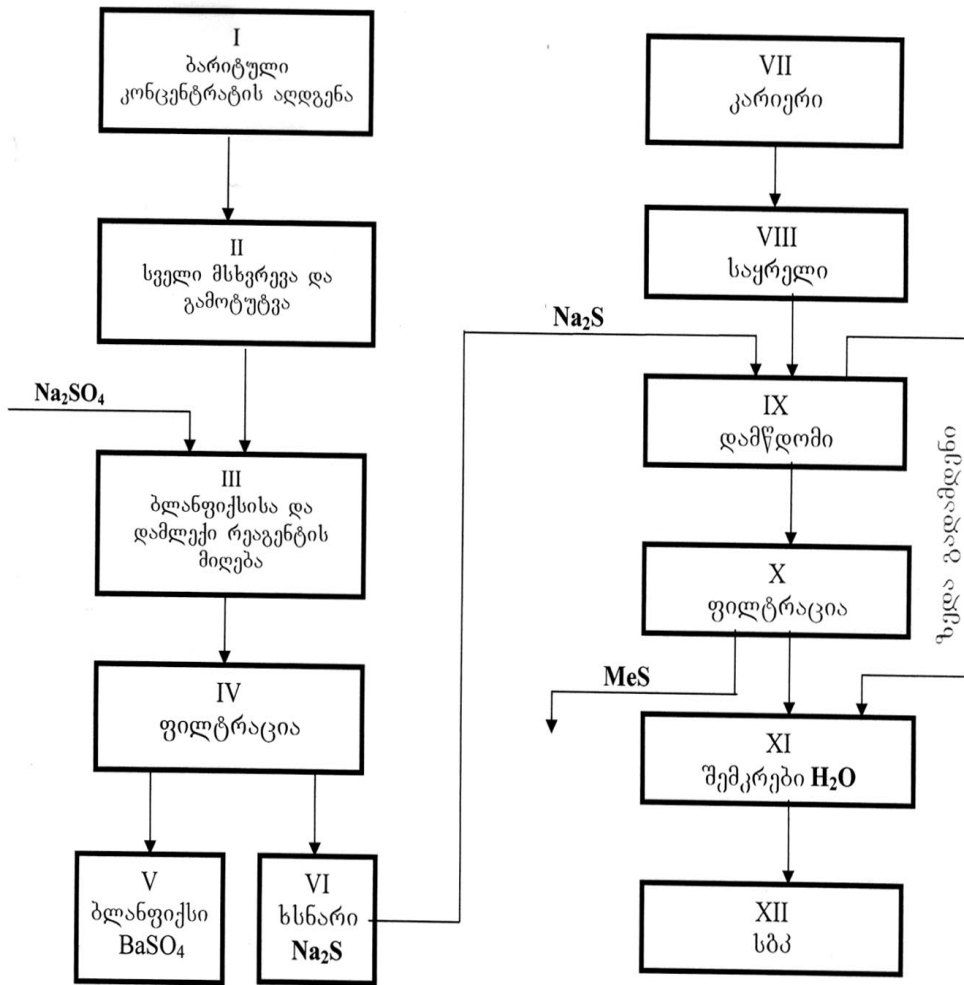


ნახ. 15. მკვ გაწმენდის შემოთავაზებული სქემა

შემოთავაზებული ტექნოლოგიის ძირითად დადებით მხარეებს წარმოადგენს:

- მკწ ღრმა გაწმენდა
- ფასეული კომპონენტების უტილიზაცია
- წყლის რესურსების რაციონალური გამოყენება

სქემა 2



ნახ. 16. მკწ გაწმენდის და ბარიტული მადნების კომპლექსური გადამუშავების საერთო ტექნოლოგიური სქემა

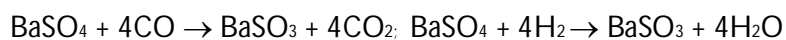
შემოთავაზებული ტექნოლოგიის დადებითი მხარეებია:

- დასაწყობებული ბარიტის მარაგების გამოყენება
- დამლექი რეაგენტის მიღება ( $\text{Na}_2\text{S}$ )
- ძვირფასი სასაქონლო პროდუქტის - ბლანფიქსის ( $\text{BaSO}_4$ ) მიღება
- მკწ ღრმა გაწმენდა
- ფასეული კომპონენტების უტილიზაცია ( $\text{CuS}$ ,  $\text{FeS}$ ,  $\text{ZnS}$ )
- წყლის რესურსების რაციონალური გამოყენება
- რეგიონში ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესება

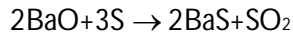
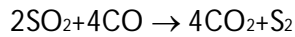
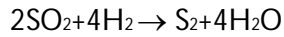
მყარი ნივთიერებების ნარევებში აღდგენის პროცესის გამოკვლევისას დადგინდა, რომ რეაქციის მიმდინარეობის მკაცრად მყარფაზიანი მექანიზმის ფარდობითი როლი რეალურ პირობებში მყარი ნივთიერებების ურთიერთქმედების ინტენსიურ პროცესში შესაძლოა ძლიერ უმნიშვნელო იყოს. ეს დაშვება გავრცობილია შემდგომში [49-55].

კვლევებით ექსპერიმენტალურად დადგენილია, რომ  $\text{BaSO}_4$  აღდგენა  $\text{BaS}$ -მდე და ნახშირბადის გაზიფიკაცია ურთიერთკავშირშია. ნაშრომის თანახმად, ნახშირით  $\text{BaSO}_4$  აღდგენა ხორციელდება  $\text{CO}$  მეშვეობით, რომელიც წარმოიქმნება საწყის ეტაპზე, ნახშირქანგის აირით გაზიფიკაციის და აღდგენილი ურთიერთქმედების განვითარების ხარჯზე.

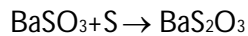
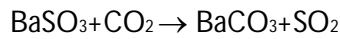
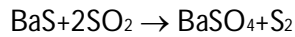
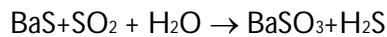
ის ფაქტი, რომ ბარიტის ნახშირით ან ნახშირის ოქსიდით აღდგენა არ განსხვავდება ერთმანეთისგან, კიდევ ერთხელ ადასტურებს ზემოაღნიშნულ ჰიპოთეზას და აჩვენებს, რომ ეს პროცესი შეიძლება ჩაითვალოს ტოპოქიმიურად, რომელშიც ელემენტარული აქტები მიმდინარეობს  $\text{BaSO}_4 - \text{BaS}$  ფაზათა გაყოფის ზედაპირზე. ზემოთ ჩამოთვლილი კვლევების საფუძველზე შეიძლება ბარიუმის სულფატის აღდგენის შემდგომი სქემის შემოთავაზება:



შემდგომში BaSO<sub>3</sub> დისოცირდება, ამიტომ ნაღნობში შეინიშნება ბარიუმის სულფიტის უმნიშვნელო რაოდენობა. პროცესის დროს წარმოქმნილი BaO რეაგირებს ელემენტური გოგირდის აირებთან, შედეგად გოგირდის ანჰიდრიდის წარმოქმნით:



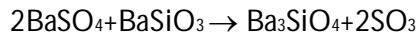
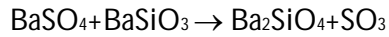
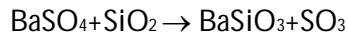
ამავდროულად, მიმდინარეობს გვერდითი რეაქციები:



წარმოების სხვადასხვა დარგების მიერ ბარიტისადმი წაყენებული მოთხოვნები რეგლამენტირდება ГОСТ 4682-49-ით ნატეხ და დაფქულ ბარიტზე და ბარიტულ კონცენტრატზე და წარმოების შესაბამისი დარგის სპეციალური ტექნიკური მოთხოვნებით. მაღალხარისხიანი ბარიტული ნედლეულის მარაგები მნიშვნელოვნად მცირდება. ამიტომ, ამ დროისთვის დიდ მნიშვნელობას იძენს დაბალსორტიანი ბარიტების, მათ შორის, ფლოტაციური ბარიტული კონცენტრატების გამოყენების შესაძლებლობების დამყარების პრობლემა. ამ კონცენტრატების გამოყენება დაკავშირებულია რიგ სირთულეებთან, რომლებიც გამოწვეულია, როგორც მცირედისპერსიული მასალებით „ქურქის“ წარმოქმნის შესაძლებლობით, ასევე, შემადგენლობით (SiO<sub>2</sub> შემცველობა ზოგჯერ 6-13% აღწევს), რომელიც ხელს უწყობს ისეთი გვერდითი რეაქციების მიმდინარეობას, რომლებიც უარყოფით გავლენას ახდენენ ბარიტის აღდგენის ხარისხზე, ძირითადად ბარიუმის წყალში ხსნადი ნაერთების გამოსავალზე [45-48, 76-91].

SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> მინარევები ამნელებს პროცესის ნორმალურ მიმდინარეობას და ამცირებს BaS გამოსავალს. მაგალითად, ბარიტში

არსებული კაჟმიწა რეაგირებს ბარიუმის მარილებთან ბარიუმის მეტა-,  
ორთო-, სამ- და პოლისილიკატების წარმოქმნით, რაც ხელს უწყობს  
გაზობრივ ფაზაში  $SO_3$  და გოგირდის წარმოქმნას:

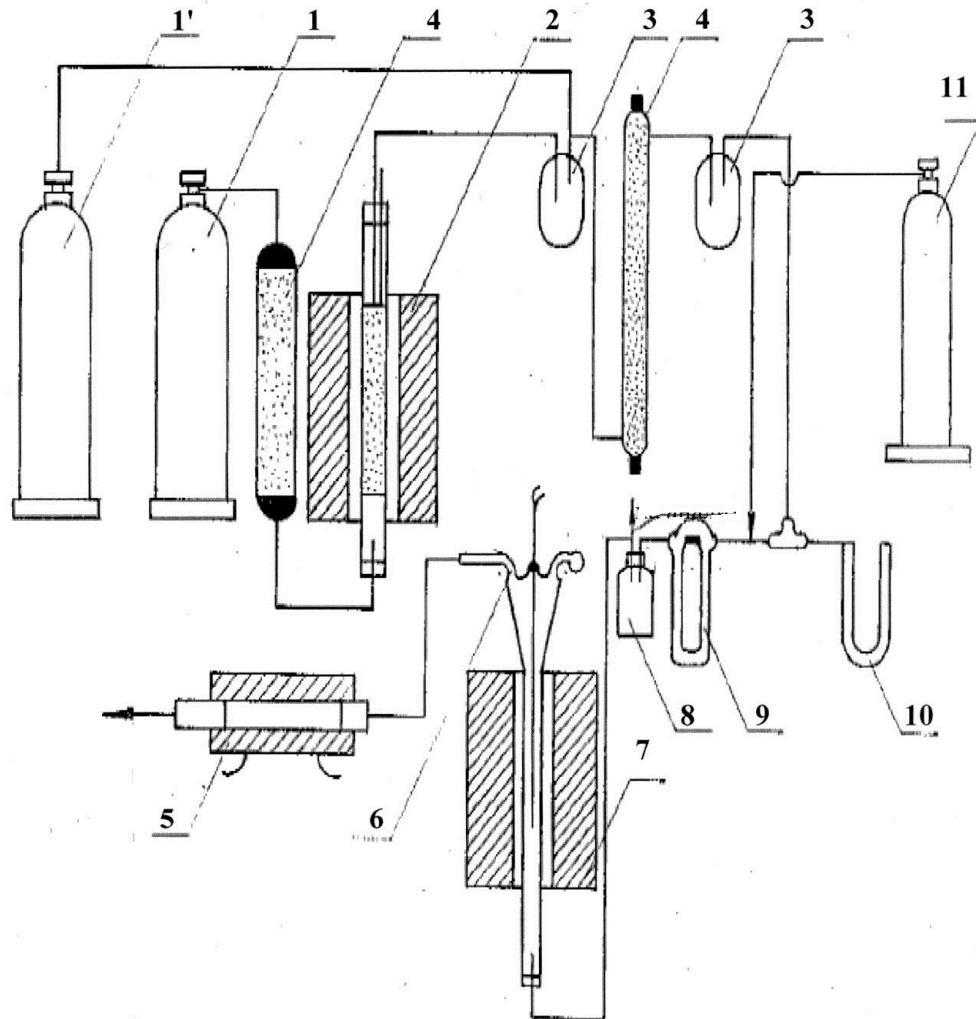


ალუმინისა და რკინის ოქსიდები ბარიტთან ურთიერთქმედებისას  
იძლევიან ისეთ ნაერთებს, როგორებიცაა ე.წ. ბარიუმის ალუმინატები ( $BaO \cdot$   
 $Al_2O_3$ ), ფერიტები ( $BaO \cdot Fe_2O_3$ ) და თიოფერიტები ( $BaFe_2 \cdot S_4$ ). კაზში ამ  
ნივთიერებების წარმოქმნისას შესაძლებელია „ქურქის“ წარმოშობა, რაც  
არცთუ იშვიათად არღვევს აღდგენითი გამოწვის ტექნოლოგიურ პროცესს.

ბარიტების BaS-მდე მზრუნავ ღუმლებში მყარი აღმდგენლებით  
აღდგენის გავრცელებული მეთოდი ვერ უზრუნველყოფს სამიზნე  
პროდუქტის მაღალ გამოსავალს. ღუმლებში 1100-1200°C ტემპერატურის  
შენარჩუნების აუცილებლობასთან კავშირში იზრდება გვერდითი  
პროცესების სიჩქარე, რომლის შედეგადაც მცირდება BaS გამოსავალი და  
იზრდება მჟავაში ხსნადი ნაერთების გამოსავალი, რის გამოც ფასეული  
კომპონენტის დიდი რაოდენობა ხვდება ნაყარებში. დაბალსორტიანი  
ბარიტების, მათ შორის ფლოტაციური კონცენტრატების აღდგენა არსებულ  
სამრეწველო პირობებში გართულებულია და ხასიათდება პროცესის  
დაბალი მაჩვენებლებით.

ზემოაღნიშნულის გაანალიზებისას, შეიძლება აღინიშნოს, რომ  
ბარიტის აღდგენითი პროცესის ინტენსიფიკაციისას და ბარიტის  
ფლოტოკონცენტრატის გამოყენების შესაძლებლობის დამყარებისას დიდ  
მნიშვნელობას იძენს მდულარე შრეში მიმდინარე პროცესების კვლევა  
როგორც გაზისებრი აღმდგენლების გამოყენებით ბარიტის აღდგენის  
პროცესისთვის, ასევე ზოგადად, მათ შორის სულფიდური მადნების  
პირომეტალურგიული გადამუშავების კომპლექსური ტექნოლოგიებისთვის  
[69, 92-93].

ქვემოთ მოყვანილია მონაცემები ბარიტის სულფატის ფლოტაციური კონცენტრატის აღდგენის კინეტიკის შესახებ მდულარე ფენის პირობებში. ბარიტული კონცენტრატის აღსადგენად ლაბორატორიული დანადგარის სქემა მოცემულია ნახ. 17-ზე.



ნახ. 17. მდულარე შრის ლუმლებში ბარიუმის შემცველი მასალების აღსადგენად ლაბორატორიული დანადგარის სქემა  
 1<sup>1</sup> - წყალბადის ავზი, 1 - ნახშირორჟანგის ავზი, 2 - ნახშირჟანგის მისაღები რეაქტორი, 3 - შემრევი, 4 - მტვრის დამჭერი, 5 - CO და H<sub>2</sub> დაჟანგვის რეაქტორი, 6 - მდულარე შრის რეაქტორი, 7 - რეაქტორის გასახურებელი ლუმელი, 8 - შემრევი, 9 - რეომეტრი, 10 - მანომეტრი, 11 - ინერტული აირის ავზი.



ნახშირორჟანგი 1 ავზიდან გადადის 4 ტენიანობის გამწმენდში, რეომეტრში და მიეწოდება 2 რეაქტორში, რომელიც გავსებულია „ბაუ“ მარკის აქტივირებული ნახშირით. საქმენში მიწოდებული აღმდგენი გაზის შემადგენლობის რეგულირება ხორციელდება აქტივირებული ნახშირის 600-1200°C ტემპერატურის ფარგლებში გახურების ცვლილებით. ტემპერატურის გაზომვა ხორციელდება პლატინა-პლატინა როდიუმის თერმოწყვილით. ნახშირორჟანგისა და ნახშირორჟანგის ნარევი გაივლის ტენისა და მტვრის დამჭერის სისტემას 4, რეომეტრს და მიეწოდება შემრევში. წყალბადი მიეწოდება სისტემაში ავზი 1-დან 3-ე შემრევით.

ამგვარად მიღებული აღმდგენი ნარევი დამატებითი გაწმენდის შემდეგ მიეწოდება მდულარე შრის რეაქტორში 6. ნარევირები გაზები გაივლიან CuO-თი შევსებულ ლუმელს 5. ნახშირორჟანგი და წყალბადი CuO-სთან რეაგირებით გადადიან CO<sub>2</sub> და H<sub>2</sub>O-ში და გამოიყოფიან ატმოსფეროში.

საწყისი გაზების შემადგენლობის დასადგენად აღმდგენი გაზი ანალიზს ექვემდებარება მე-8 შემრევის შემდეგ, ხოლო ნარევირები გაზი - მე-6 რეაქტორის შემდეგ. ანალიზი ტარდება ნახშირორჟანგის, ნახშირორჟანგის და წყალბადის შემცველობაზე.

ჟანგბადის (ჰაერის) მოცილების მიზნით, ექსპერიმენტის დაწყებამდე სისტემაში ხდება არგონის შებერვა.

რეაქტორებში ტემპერატურა იზრდება 5-10°C/წთ სიჩქარით და მოცემულ დონეზე ყოვნდება ავტომატურად ხელსაწყოს მეშვეობით (პრ-01).

მიცემული ტემპერატორის მიღწევის შემდეგ არგონის მიწოდება წყდება, იტვირთება მასალა (ბარიუმის შემცველი ნედლეულის ნავესკა ყოველ ცდაზე შეადგენს 20 გრამს) და მიეწოდება აღმდგენი ნარევი. ცდის დასრულების შემდეგ აღმდგენი გაზის მიწოდება წყდება და იმავდროულად მიეწოდება არგონი (რეაქტორის გაგრილებისას ჰაერის შეწოვის გამოსარიცხად).

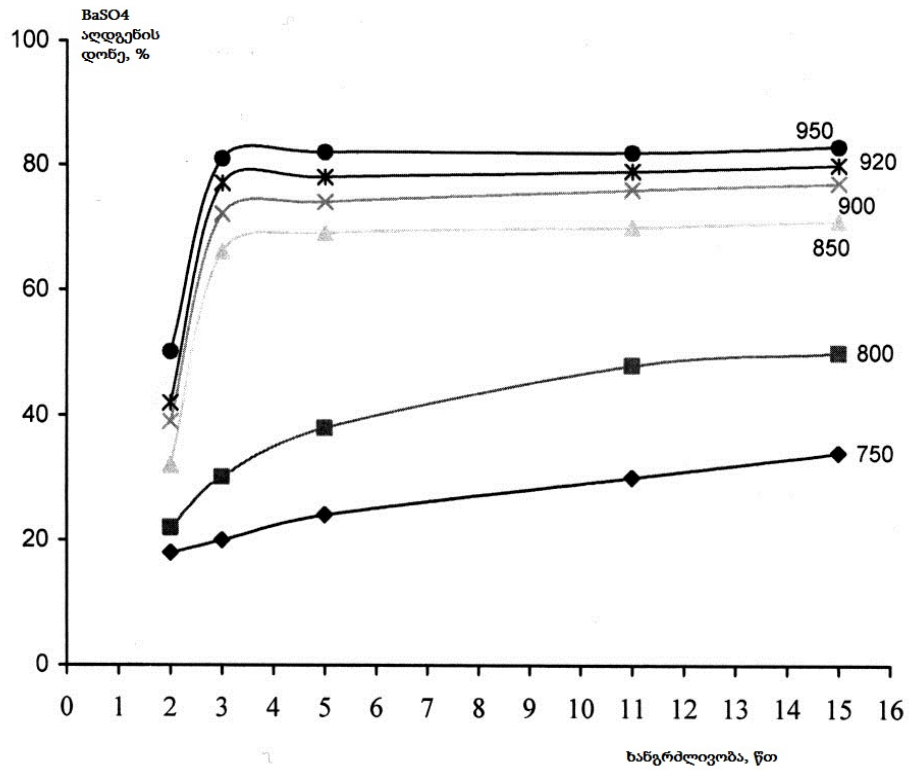
100°C-მდე გაგრილებული მასალა გადმოიტვირთება რეაქტორიდან და ექვემდებარება ქიმიურ ანალიზს. ბარიუმის ნედლეულის და აღდგენილი კაზმის ანალიზი ხორციელდება სტანდარტული მეთოდებით.

ბარიტული ფლოტოკონცენტრატის აღდგენა თანაბარ პირობებში აჩვენებს, რომ გრანულირებული კონცენტრატი დიდწილად აღდება მტვრის წატაცებისას მნიშვნელოვნად მცირე დანაკარგების დროსაც კი. ამიტომ, ღუმლებში აეროდინამიკური პირობების გასადაუმჯობესებლად, მასალების შეცხოვის შესაძლებლობის შესამცირებლად და მტვრის წატაცებისას დანაკარგების შესამცირებლად, მოცემულ სამუშაოში ხდებოდა საწყისი გრანულირებული მასალის აღდგენა. შემკვრელ მასალად გამოიყენებოდა ბენტონიტის საწყისი მასალის მასის 1% შეყვანაზე გათვლით.

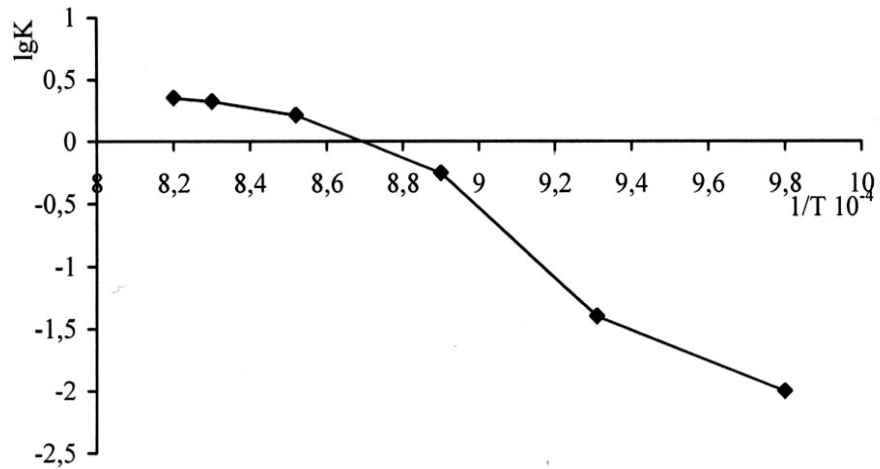
ფლოტოკონცენტრატის გრანულირება მიმდინარეობდა შემდეგი მახასიათებლების მქონე გრანულატორზე:  $\Phi = 500\text{მმ}$ ;  $h = 100\text{მმ}$ , დახრის კუთხე  $40-45^\circ$ , სიჩქარე  $35-40$  ბრ/წთ. მიღებული მასალა შრება თერმოსტატში არაუმეტეს  $150-259^\circ\text{C}$  ტემპერატურაზე, რითაც ხდებოდა დეკრიპიტაციის გამორიცხვა.

ბარიუმის სულფატის აღდგენის დონეზე ტემპერატურის ზეგავლენა შესწავლილია  $750-950^\circ\text{C}$  ინტერვალში და შედეგები მოყვანილია ნახ. 18-ზე. ბარიუმის წყალში ხსნად ნაერთებში  $\text{BaSO}_4$ -ის გადასვლის სიჩქარის ექსპერიმენტალური მონაცემები გამოისახება განტოლებით  $\alpha = 1 - e^{-Kt}$  და სიჩქარის კონსტანტები გამოითვლება განტოლებით  $\lg K = \lg n + \lg K/n$ .  $K$  და  $n$  მნიშვნელობები მოძიებულია  $\lg(-\lg(1-\alpha)) \div \lg K$ . დამოკიდებულების გრაფიკიდან.

მოყვანილი მონაცემებიდან ჩანს, რომ ბარიტული კონცენტრატის აღდგენის სიჩქარე მნიშვნელოვნად იზრდება აღდგენის ტემპერატურის  $900^\circ\text{C}$ -მდე ზრდასთან ერთად. ტემპერატურის შემდგომი მატება უმნიშვნელოდ აჩქარებს პროცესის სიჩქარეს, რაც ასევე მტკიცდება აქტივაციის ენერჯის გაანგარიშებით (ნახ. 19).



ნახ.18. პროცესების ტემპერატურაზე ბარიუმის სულფატის აღდგენის დამოკიდებულების კინეტიკური მრუდები



ნახ. 19. ტემპერატურაზე ბარიუმის სულფატის აღდგენის პროცესის სიჩქარის დამოკიდებულების კონსტანტები

გარდატეხა ნახ. 19-ზე გამოსახულ გრაფიკზე შეესაბამება 900°C-ს. 750-950°C და 900-950°C ინტერვალებში გამოთვლილია აქტივაციის ენერჯის სიდიდეები, რომელიც შეადგენს 79152 კალ/მოლ და 16634 კალ/მოლ-ს შესაბამისად.

ცხრილი 6. ალდგენის რეაქციის სიჩქარის კონსტანტების გამოთვლის შედეგები

°C	lg $\alpha=n$	Lgn	lgK	lgK/n	lgK	1·10 <sup>4</sup> /T	K, წმ <sup>-1</sup>
750	0.5540	-0.2460	-0.9600	-1.752	-1.998	9.80	0.0100
800	0.6249	-0.2110	-0.7400	-1.184	-1.395	9.31	0.0248
850	1.8820	0.2760	-0.1000	-0.532	-0.255	8.90	0.2557
900	4.0110	0.6300	-1.5600	-0.388	0.214	8.52	1.1639
920	4.7050	0.6721	-1.6400	-0.348	0.324	8.30	2.1090
950	5.1450	0.7114	-1.6400	-0.357	0.354	8.20	2.2590

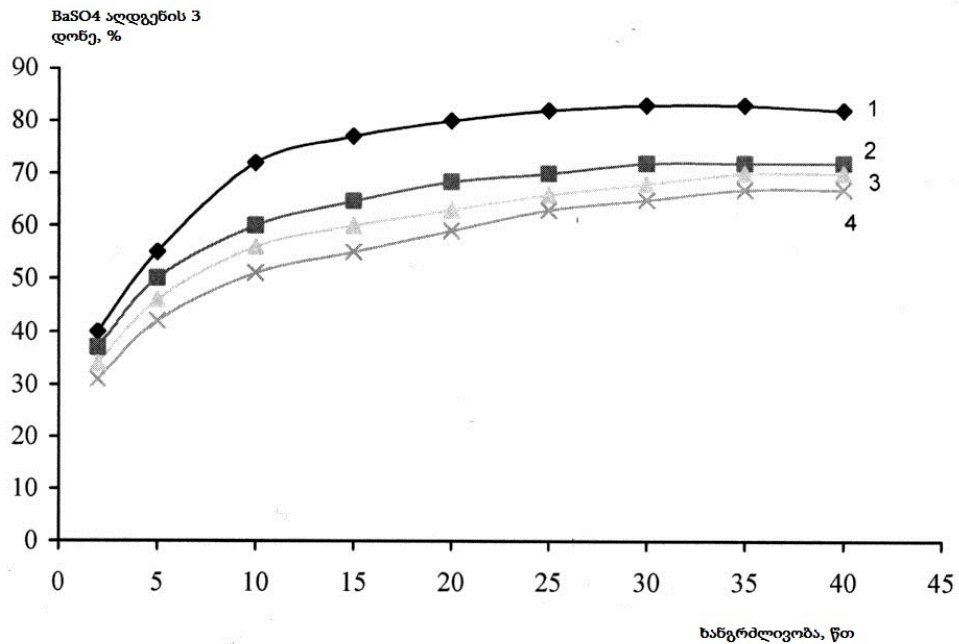
ამგვარად, 900°C ტემპერატურამდე, უძრავი ფენის ანალოგიურად, ბარიტის ალდგენა მდულარე შრის პირობებში მიმდინარეობს კინეტიკურ ნაწილში. 900-950°C ინტერვალში პროცესი წარმოადგენს კინეტიკურიდან დიფუზურში გარდამავალს.

სხვადასხვა ზომების გრანულების ალდგენის დონის განსხვავება თავდაპირველად უფრო შესამჩნევია და დროთა განმავლობაში მცირდება. უნდა აღინიშნოს, რომ ბარიტის ალდგენის სიჩქარის მუდმივა მასალის ზომის ზრდასთან ერთად იცვლება აღმდგენი მასალის ნაწილაკის დიამეტრის უკუპროპორციულად (ცხრილი 7).

ცხრილი 7. ნაწილაკების დიამეტრზე რეაქციის სიჩქარის მუდმივების დამოკიდებულება

°C	ნაწ. დიამ. $\mu$	სიჩქარის მუდმივა	K <sub>2</sub> /K <sub>1</sub>	d <sub>1</sub> /d <sub>2</sub>
900				
	-1000 + 800	0.0267	2.5880	1.4289
	-630 + 560	0.0677		

აღმდგენი გაზის ნაბერში შემადგენლობის ცვლილება 40%-დან 100%-მდე უმნიშვნელოდ ახდენს ზეგავლენას ბარიუმის ფლოტაციური კონცენტრატის აღდგენის სიჩქარეზე (ნახ. 20). მაქტივირებული ნივთიერებებიდან ბარიტის აღდგენის დონეზე მეტნაკლებ ზეგავლენას ახდენს  $\text{CaSO}_4$  (ცხრილი 8), რაც ასევე მტკიცდება თერმოდინამიკური გათვლებით (ცხრილი 9)



ნახ. 18. ნაბერში აღმდგენლის კონცენტრაციაზე ბარიუმის სულფატის აღდგენის დამოკიდებულების კინეტიკური მრუდები  
1 – 100%; 2 – 80%; 3 – 60%; 4 – 40%

ცხრილი 8. ბარიუმის სულფატის აღდგენაზე კალციუმის ნაერთების დამატების ზეგავლენა.

ტემპერატურა 900°C, ნაბერის რაოდენობა 3.25ლ/წთ,  
ნაბერში CO შემცველობა - 80%, გამოწვის დრო - 60წთ

კაზმის შედგენილობა	ბარიტის აღდგენის დონე, %		საერთო გამოსავალი %
	BP	KP	
ბარიტი	60.22	22.18	82.40
+10% $\text{CaSO}_4$	78.98	10.13	89.11
+10% CaO	68.45	19.87	89.32
+10% $\text{CaCO}_3$	64.45	20.58	85.24

CaSO<sub>4</sub> დამატების შედეგად ბარიუმის წყალში ხსნადი მარილების გამოსავლის ზრდა შეიძლება აიხსნას შემდეგნაირად: CaSO<sub>4</sub> დისოციაციის შედეგად სარეაქციო ზონაში იზრდება გოგირდის პარციალური წნევა და, ვინაიდან, BaS წარმოქმნის თერმოდინამიკური შესაძლებლობა უფრო მაღალია ვიდრე CaS-ის, ამიტომ იზრდება BaS გამოსავალი, რომელიც მიიღება CaSO<sub>4</sub> დისოციაციის შედეგად, აქტიური CaO რეაქციაში შედის კონცენტრატში არსებულ SiO<sub>2</sub>-თან, გადადის მის სილიკატურ ფორმაში, რითაც ამცირებს მის უარყოფით ზეგავლენას BaS აღდგენის დონეზე; პროდუქტში არსებული BaCO<sub>3</sub>, რომელიც მიიღება 800-900°C რიგის ტემპერატურების დროს გვერდითი რეაქციების შედეგად, აქტიურად შედის რეაქციაში CaSO<sub>4</sub> -თან BaS დამატებითი რაოდენობების მიღებით.

ცხრილი 9. სტანდარტული იზობარული პოტენციალის და წონასწორობის მუდმივების თერმოდინამიკური შეფასება

2BaO+3S → 2BaS+SO <sub>2</sub>			2CaO+3S → 2CaS+SO <sub>2</sub>	
t°C	lgK <sub>p</sub>	Δz <sup>0</sup>	lgK <sub>p</sub>	ΔG <sup>0</sup>
700	8.55	-28.373	3.85	-12.344
800	7.19	-26.306	2.98	-11.722
900	6.05	-24.918	2.24	-9.214
1000	5.09	-23.277	1.58	-7.249
1100	4.36	-21.943	1.01	-5.081
1200	3.54	-19.428	0.50	-2.740

### 3.2 მადნეულის ბარიტული კონცენტრატის ბარიუმის ნაერთების წარმოებისთვის ვარგისიანობის ექსპერიმენტული შემოწმება

მადნეულის ბარიუმის კონცენტრატები, როგორც აღინიშნა, წარმოადგენს დაბალხარისხიანს. მასში ძირითადი კომპონენტის (BaSO<sub>4</sub>) შემცველობა 82-83%-ს არ აღემატება.

ცხრილში 10 მოყვანილია სრული ქიმიური ანალიზი, ხოლო ცხრილში 11 მოყვანილია კონცენტრატის გრანულომეტრული შემადგენლობის მონაცემები.

ცხრილი 10. ბარიტული კონცენტრატის ქიმიური შემადგენლობა

ბარიტის კონცენტრატი	შემადგენლობა, %							
	BaSO <sub>4</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SiO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	ტენი	ვარვარების დანაკარგი
N1 მადნეული	82.24	0.54	0.03	14.76	0.57	0.09	0.09	1.31
N2 მადნეული	83.10	0.54	0.03	13.97	0.42	0.07	0.09	1.11
კენტაუ (ყაზახეთი)	85-87	1-2	1-3	2-3	0.5-1	-	2	-

ცხრილი 11. მადნეულის საბადოს ბარიტული კონცენტრატის გრანულომეტრული შემადგენლობა

ერთ. განზ.	ზომები, მმ									
	+1600	+1000	+400	+315	+200	+160	+100	+63	+50	-50
გრამი	171	170	552	683	390	288	425	166	35	5.6
%	5.9	5.9	18.8	23.4	13.3	9.9	14.5	5.77	1.2	1.2

ამის დასამტკიცებლად, და ბარიუმის ნაერთების წარმოებაში მადნეულის ბარიტული კონცენტრატების გამოყენების შესაძლებლობების მოსაძიებლად, შესრულდა შემდგომი კვლევის გეგმა: ერთნაირ პირობებში ჩატარდა კენტაუს (ყაზახეთი) და მადნეულის კონცენტრატების აღდგენის ექსპერიმენტები (ცხრ. 12 და ცხრ. 13) და მიღებული პროცესის ტექნოლოგიურ მაჩვენებლების შედარებითი ანალიზების შემდეგ, აფასებდნენ მადნეულის ბარიტული კონცენტრატის ვარგისიანობას.

აღდგენის პროცესზე ექსპერიმენტების ყველა სერიაში ხდებოდა შემდეგი ფაქტორების ზეგავლენის შესწავლა:  $\xi_1$  - გამოწვის ტემპერატურა °C,  $\xi_2$  - ნაბერში მოწოდებულ გაზში CO შემცველობა,  $\xi_3$  - გამოწვის დრო, წთ.,  $\xi_4$  - ნაბერში მიწოდებული გაზის ოდენობა. გამოსავალ პარამეტრებად

მიღებულია ბარიუმის წყალში ხსნადი და მჟავაში ხსნადი მარილების გამოსავალი და საერთო გამოსავალი.

კვლევები ტარდებოდა ნახ. 15-ზე მოყვანილ დანადგარზე ფაქტორული სივრცის სფეროში, ცხრ.12-ში მოყვანილი ვარირების ცენტრითა და ინტერვალებით. ექსპერიმენტები რანდომიზებულია დროში. რეალიზებულია  $2^{4-1}$  ტიპის ექსპერიმენტი. დაგეგმილი ექსპერიმენტის რეალიზაციის მონაცემებით გაანგარიშებულია რეგრესიული განტოლების კოეფიციენტები და შესაბამისი კრიტერიუმები:

$$Y=29.68 + 12.57x_1+5.02x_2-0.15x_3-1.91x_4$$

$$S_2\{Y\}= 2.97; S\{Y\}=1.72; S\{b_i\}=0.91$$

შეცდომის განსაზღვრა ხდებოდა გეგმის ცენტრში 3 პარალელური ექსპერიმენტის შედეგების მიხედვით.  $\pm\Delta b_i=\pm t \cdot S\{b_i\}=\pm 3.18 \times 0.91=2.226$  ფორმულის შესაბამისად ხაზობრივი ეფექტებით დახასიათებული რეგრესიის კოეფიციენტების მნიშვნელობის შემოწმება გვიჩვენებს, რომ პირობები სრულდება  $b_1$  და  $b_2$  კოეფიციენტებისთვის, ხოლო  $b_3$  და  $b_4$  კოეფიციენტები უმნიშვნელოა.

ფიშერის კრიტერიუმის გამოთვლილი სიდიდე, რომელიც უტოლდება  $F_{aq}=S_{aq}/S^2\{Y\}=15.9$  არ აღემატება კრიტიკულ მნიშვნელობას  $F_{0.05}(3,2)=19.2$  ე.ი.  $F_{გამოთვლ.} < F_{კრიტიკ.}$  ე.ი. არ ხდება წრფივობის ჰიპოთეზის უარყოფა მნიშვნელობის 5% დონეზე და ხდება რეგრესიული განტოლების გამოყენება ციცაბო აღმასვლის ხაზის გასწვრივ მოძრაობისა და გამოთვლისთვის.

რეგრესიული გამოთვლა ადექვატურად აღწერს პროცესს შერჩეული ინტერვალების ზღვრებში.  $b_1$  და  $b_2$  კოეფიციენტებისადმი დადებითობა გვიჩვენებს, რომ ამ კოეფიციენტების ზრდისას სამიზნე პროდუქტის გამოსავალი გაიზრდება.  $b_3$  კოეფიციენტის უმნიშვნელობა ნიშნავს, რომ ამ კოეფიციენტისადმი ვიმყოფებით თითქმის სტაციონარულ სფეროში და მისი ცვლილება არ იძლევა რაიმე ეფექტს.  $b_4$  კოეფიციენტის მნიშვნელობა აღწევს თითქმის მნიშვნელოვნობამდე, შემდგომ უარყოფითი სიდიდე



წარმოადგენს იმის მტკიცებულებას, რომ აღმდგენელის შეყვანა გამართლებულია მხოლოდ გაჟონვის შრეში. გეგმის ცენტრში ექსპერიმენტის მონაცემები გვიჩვენებს, რომ ეს კოეფიციენტი ასიმეტრიულია თავისუფალი წვერის მნიშვნელობის მხრივ. ზემოაღნიშნული კრიტერიუმები გვემსახურება იმის მტკიცებულებად, რომ, ოპტიმალური მნიშვნელობების არე არაა განვლილი, და უნდა მოიძებნოს ფაქტორული სივრცის მიღმა.

რეგრესიულ განტოლებაში ხაზობრივი წვერებისა და ვარირების ინტერვალების კოეფიციენტების ნაპოვნი მნიშვნელობების გათვალისწინებით, ხდებოდა ციცაბო აღმასვლა მიზნობრივ პროდუქტში ბარიუმის სულფიდის გამოსავლის მაქსიმალური მნიშვნელობების არეში.

12-ე ცხრილში მოყვანილია ექსპერიმენტული შედეგების (ცდები 12-17) ნაბიჯების რეალიზაციით მიღებული ოპტიმიზაციის პარამეტრი - ნალღობში ბარიუმის სულფიდის შემცველობა.

ცხრილი 12. მადნეულის საბადოს ბარიტული კონცენტრატის აღდგენის ექსპერიმენტების დაგეგმვის პირობები და შედეგები

შესწავლილი ფაქტორები	ξ <sub>1</sub>	ξ <sub>2</sub>	ξ <sub>3</sub>	ξ <sub>4</sub>			
ვარირების ინტერვალის ძირ. დონე ზედა დონე, +1 ქვედა დონე, -1	850	25	30	3	გამოსავალი, %		
	50	5	10	1			
	900	30	40	4			
	800	20	20	2			
ცვლადების კოდირებული აღნიშვნა	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Y <sub>1</sub> წ/ხ	Y <sub>2</sub> მ/ხ	Y <sub>3</sub> საერთო
ცდა 1(6)	-	-	-	-	12.48	17.43	30.91
2(4)	-	-	+	+	7.93	2.04	9.97
3(5)	-	+	-	+	20.75	6.85	27.81
4(1)	-	+	+	-	27.85	8.29	47.29
5(8)	+	-	-	+	39.00	8.29	47.29
6(7)	+	-	+	-	38.90	11.31	50.21
7(4)	+	+	-	-	47.42	9.73	57.45
8(3)	+	+	+	+	43.70	9.84	53.54

ცხრილი 12. მადნეულის საბადოს ბარიტული კონცენტრატის აღდგენის ექსპერიმენტების დაგეგმვის პირობები და შედეგები (გაგრძელება)

N9				40.22	9.54	გადასწავლის დასაწყისი		
N16				40.54	49.76			
N11				42.38	9.84			
გემის ცენტრის პირობებში					50.18			
					8.53			
					51.91			
რეგრესიის კოეფიციენტები	+12.57	+5.02	-0.15	-1.91	პრაქტიკული წ/ხ; მ/ხ; საერთო			
ტემპ.	638.50	25.10	-1.5	-1.91				
ცვლილების შესაბამისი ბიჯი	25.0	0.98	-0.05	-0.075				
დამრგვალება	25.0	1.00	-0.05	-0.075				
12	875	26	29.5	2.28	41.2	10.22	51.42	
13	900	27	29.75	2.17	48.4	10.58	58.48	47.0
14	925	28	29.40	2.10	49.2	8.48	58.68	584
15	950	29	29.35	2.03	68.0	11.97	73.97	692
16	975	30	29.30	1.96	74.0	12.98	86.97	807
17	1000	31	29.25	1.89	85.0	13.05	98.05	919

ექსპერიმენტები არ ტარდებოდა 1000°C-ზე ზევით, რადგან იწყება შეცხოვრილი მასალის წარმოქმნა.

შესაბამისი ექსპერიმენტების (ცხრილი 12 და ცხრილი 13) განხორციელების შედეგები გვიჩვენებს, რომ კენტაუს საბადოს ბარიტული კონცენტრატის აღდგენა ხდება ბევრად მარტივად, რაც გამოიხატება ბარიუმის წყალში ხსნადი მარილების მაღალ გამოსავალში. მადნეულის საბადოს ბარიტული კონცენტრატის ბარიუმის წყალში ხსნადი მარილების გამოსავლის ოპტიმიზაცია არ აღემატება 85% (ცხრილი 12), ვინაიდან 975-1000°C ტემპერატურაზე უკვე იწყება მასალის შეცხოვა და მდულარე შრის ჩაცხრობა, რაც მოყავს კიდევ ტექნიკური მაჩვენებლების გაუარესებას.

ცხრილიდან 13 ჩანს, რომ კენტაუს საბადოს ბარიტული კონცენტრატისთვის ასეთივე მაჩვენებლები მიიღწევა 900°C ტემპერატურაზე, ხოლო ბარიუმის წყალში ხსნადი მარილების გამოსავლის მაქსიმიზაციისას 93-95% ზღვარი მიიღწევა 930-950°C ტემპერატურაზე.

როგორც ჩანს, მადნეულის საბადოს ბარიტული კონცენტრატის გადამუშავებისას ბარიუმის წყალში ხსნადი მარილების (BaS) შედარებით დაბალი გამოსავლის მაჩვენებლები გამოწვეულია SiO<sub>2</sub>-ის მომატებული შემცველობით (12-13%) [95-102].

ცხრილი 13. კენტაუს საბადოს ბარიტული კონცენტრატის ნარეგების კაზმის აღდგენის დაგეგმვის პირობები და შედეგები

შესწავლილი ფაქტორები	ξ <sub>1</sub>	ξ <sub>2</sub>	ξ <sub>3</sub>	Ξ <sub>4</sub>	
ვარიუმის ინტერვალის ძირ. დონე	850	25	30	1.5	
ზედა დონე, +1	50	5	10	0.5	
ქვედა დონე, -1	800	30	40	2.0	
	900	20	20	1.0	
ცვლადების კოდირებული აღნიშვნა	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Y <sub>1</sub> წყალში ხსნ. %
ცდები: 1	-	-	-	-	68.70
2	-	-	+	+	46.70
3	-	+	-	+	37.74
4	-	+	+	-	46.79
5	+	-	-	+	78.21
6	+	-	+	-	71.59
7	+	+	-	-	83.13
8	+	+	+	+	74.97

ბარიუმის სულფატის აღდგენის პროცესზე SiO<sub>2</sub>-ის ზეგავლენის შესწავლისას რეალიზებული იქნა ცხრილი 14-ისა და ცხრილი 15-ის ორი მატრიცა და ნაპოვნია დამოკიდებულება ბარიუმის წყალში ხსნადი მარილების გამოსავალს (Y<sub>1</sub>), ბარიუმის მჟავაში ხსნადი მარილების გამოსავალს (Y<sub>2</sub>), საერთო გამოსავალს (Y<sub>3</sub>) და მოქმედ ცვლად ფაქტორებს: გამოწვის ტემპერატურას (ξ<sub>1</sub>, °C), ნაბერში მოწოდებული გაზის რაოდენობას (ξ<sub>2</sub>, ლ/წთ), გამოწვის დროსა (ξ<sub>3</sub> წთ.) და SiO<sub>2</sub>-ის დამატების რაოდენობას შორის (ξ<sub>4</sub>, %). ფაქტორების ვარიუმის ინტერვალები შერჩეულია წინასწარი ცდების საფუძველზე. ექსპერიმენტები რანდომიზებულია დროში.

ცხრილი 14. ბარიუმის სულფატის აღდგენის პროცესზე SiO<sub>2</sub>-ის ზეგავლენის გამოკვლევის დაგეგმვის პირობები და შედეგები

ფაქტორები		ფაქტორების დონეები			ვარირების ფაქტორები P <sub>i</sub>			
		-1	0	1				
ξ <sub>1</sub> - გამოწვის ტემპერატურა, °C		850	900	950	50			
ξ <sub>2</sub> - მიწოდებული გაზის რაოდენობა, ლ/წთ		3	4	5	1			
ξ <sub>3</sub> - გამოწვის დრო, წთ		10	20	30	10			
ξ <sub>4</sub> - დანამატის რაოდენობა, SiO <sub>2</sub>		1	2	3	1			
ცდის N	X <sub>0</sub>	დაგეგმვის მატრიცა				გამოსავალი, %		
		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Y <sub>1</sub> წ/ხ	Y <sub>2</sub> მ/ხ	Y <sub>3</sub> საერთო
1	+	-	-	-	+	85.0	4.2	89.2
2	+	-	-	+	+	90.7	7.2	98.1
3	+	-	+	-	-	76.1	7.0	84.0
4	+	-	+	+	-	84.8	10.2	95.0
5	+	+	-	-	-	91.0	10.5	101.5
6	+	+	-	-	-	88.3	10.3	98.6
7	+	+	+	-	+	93.0	7.8	100.8
8	+	+	+	+		91.5	8.5	100.0

ცხრილი 15. ბარიუმის სულფატის აღდგენის პროცესზე SiO<sub>2</sub>-ის ზეგავლენის გამოკვლევის დაგეგმვის პირობები და შედეგები

ფაქტორები		ფაქტორების დონეები			ვარირების ფაქტორები P <sub>i</sub>			
		-1	0	1				
ξ <sub>1</sub> - გამოწვის ტემპერატურა, °C		850	900	950	50			
ξ <sub>2</sub> - მიწოდებული გაზის რაოდენობა, ლ/წთ		1.5	2	2.5	0.5			
ξ <sub>3</sub> - გამოწვის დრო, წთ		10	20	30	10			
ξ <sub>4</sub> - დანამატის რაოდენობა, SiO <sub>2</sub>		4	8	12	2			
ცდის N	X <sub>0</sub>	დაგეგმვის მატრიცა				გამოსავალი, %		
		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Y <sub>1</sub> წ/ხ	Y <sub>2</sub> მ/ხ	Y <sub>3</sub> საერთო
1	+	-	-	-	+	83.6	10.8	94.9
2	+	-	-	+	+	82.5	6.2	88.7
3	+	-	+	-	-	83.1	6.5	89.6
4	+	-	+	+	-	77.3	8.1	85.4
5	+	+	-	-	-	87.3	8.9	96.2
6	+	+	-	-	-	78.6	11.3	89.9
7	+	+	+	-	+	86.7	11.0	97.7
8	+	+	+	+		75.5	10.6	86.1

ცხრილი 14-ის და ცხრილი 15-ის შედეგების მიხ. შეფასებულია რეგრესიის შესაბამისი კოეფიციენტები:

$b_1=3.4$	$b_2=-1.2$	$b_3=1.27$	$b_4=2.5$
$b_1=-3.2$	$b_2=-1.2$	$b_3=-3.35$	$b_4=0.3$

გამოსავალ პარამეტრს - ბარიუმის წყალში ხსნადი მარილებსა და საკვლევ ფაქტორს შორის კოდირებულ პარამეტრებში ხაზობრივი დამოკიდებულებები გამოისახება შემდეგნაირად:

$$Y=87.5 + 3.4x_1-1.2x_2+1.27x_3+2.5x_4$$

$$Y=81.8 - 0.2x_1 - 1.2x_2 - 3.35x_3+0.3x_4$$

რეგრესიის კოეფიციენტების მნიშვნელობების შემოწმებამ აჩვენა, რომ ნაპოვნი განტოლება პროცესს აღწერს ადეკვატურად.

ცხრილი 14-ის და ცხრილი 15-ის შედეგების შედარებისას ჩანს, რომ 1.5% ინტერვალში ნარევი  $SiO_2$ -ის შეყვანა უარყოფით ზეგავლენას ახდენს ბარიუმის წყალში ხსნადი მარილების გამოსავალზე. ამას აჩვენებს თავისუფალი კოეფიციენტის 91.35-დან 87.50-მდე შემცირებაც.  $SiO_2$ -ის ზრდასთან ერთად იზრდება ბარიუმის მჟავაში ხსნადი მარილების გამოსავალი. რაც შეეხება საერთო გამოსავალს, ის რჩება მაღალ დონეზე. ამგვარად, შეიძლება დავასკვნათ, რომ  $SiO_2$ -ის შეყვანა მთლიანობაში არ არღვევს რეჟიმს და რომ სამიზნე პროდუქტის გამოსავალი რჩება მაღალ დონეზე.

3%-ზე მეტი  $SiO_2$ -ის შეყვანა შესამჩნევად ამცირებს სამიზნე პროდუქტის (წყალში ხსნადი ბარიუმის სულფიდის) გამოსავალს 75%-მდე. შესაბამისად, იზრდება ბარიუმის მჟავაში ხსნადი მარილების გამოსავალი. თავისუფალი კოეფიციენტების შედარება შესამჩნევად ასახავს სამიზნე პროდუქტის გამოსავლის თანდათანობით შემცირებას  $b_{01}=91.35$ ,  $b_{02}=87.5$ ,  $b_{03}=81.8$ .

$b_3=-3.35$  უარყოფითი მნიშვნელობა გვიჩვენებს, რომ გამოწვის დრო უარყოფით ზეგავლენას ახდენს სამიზნე პროდუქტის გამოსავალზე და დროის ზრდას თან სდევს შუალედურ პროდუქტთან  $SiO_2$ -ის

ურთიერთქმედების დაჩქარება. ამიტომაც, მიზნობრივი პროდუქტის გამოსავალი მკვეთრად ეცემა 75%-მდე.

ამგვარად, ჩატარებული ექსპერიმენტების სერიით დამტკიცდა, რომ მადნეულის საბადოს ბარიტული კონცენტრატის პირდაპირი გამოყენება ხასიათდება შედარებით დაბალი მაჩვენებლებით. ამასთან ერთად, როგორც გვიჩვენა ექსპერიმენტულმა კვლევებმა, მადნეულის სამთო გამამდიდრებელი კომბინატის მკწ გაწმენდისთვის მადნეულის საბადოს ბარიტული ფლოტკონცენტრატის გამოყენება სრულიად მისაღებია.

### 3.3. აღდგენილი მასის გამოტუტვა

ბარიტული კონცენტრატის გადამუშავების ტექნოლოგიის ერთერთ უმნიშვნელოვანეს საფეხურს წარმოადგენს პირობების შემოშავება ბარიუმის შემცველი ხსნარების მიღებისთვის იმ კონცენტრაციებით, რომლებიც შესაბამება ტექნიკურ საწარმოო პირობებს (110-120 გ/ლ) აღდგენილი მასიდან ბარიუმის წყალში ხსნადი მარილების მაქსიმალური ამოღებისას. ექსპერიმენტის პირობები მოყვანილია ცხრ. 16-ში, ხოლო შედეგები ცხრილებში 17-18.

ცხრილი 16. გამოტუტვის პროცესის შესწავლისთვის ექსპერიმენტის დაგეგმვის პირობები

ფაქტორები	ფაქტორების დონეები			ვარირების ფაქტორები, P <sub>i</sub>
	-1	0	1	
ξ <sub>1</sub> - გამოტუტვის ტემპერატურა, °C	40	60	80	20
ξ <sub>2</sub> - ს:მ თანაფარდობა	8:1	7:1	6:1	1:1
ξ <sub>3</sub> - კაზში შემცველობა, %	52	56.5	61	4.5
ξ <sub>4</sub> - გამოტუტვის დრო, წთ	10	15	20	5

შესწავლული იქნა 5 ფაქტორის ზეგავლენა (ცხრ. 21) BaS – Y<sup>(1)</sup> და სტრონციუმის – Y<sup>(3)</sup> გამოტუტვის დონეზე, ასევე, ხსნარში BaS – Y<sup>(2)</sup> და SrS –

$Y^{(4)}$  კონცენტრაციაზე. დროში რანდომიზირებული ცდების შედეგები მოყვანილია ცხრილში 17.

ცხრილი 17. გამოტუტვის პროცესის შესწავლის ექსპერიმენტის გეგმა და შედეგები

N	ტემპ- რა °C	ს:მ	%	დრო წთ	BaS გამოტუტვის დონე, %	BaS კონც. გ/ლ ხსნარში	SrS გამოტუ ტვის დონე, %	SrS კონც. გ/ლ ხსნარში
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X=X_1$ $X_2 X_3$	$Y^{(1)}$	$Y^{(2)}$	$Y^{(3)}$	$Y^{(4)}$
1	-1	-1	-1	-1	90.38	58.75	73.33	0.75
2	-1	-1	+1	+1	84.12	64.25	60.00	0.79
3	-1	+1	-1	+1	97.78	84.75	73.70	1.00
4	-1	+1	+1	-1	82.78	84.50	59.05	1.03
5	+1	-1	-1	+1	99.05	64.40	98.25	1.00
6	+1	-1	+1	-1	95.90	73.25	96.60	1.26
7	+1	+1	-1	-1	97.80	87.85	97.80	1.33
8	+1	+1	+1	+1	99.02	100.85	98.50	1.73

განსაზღვრულია რეგრესიული განტოლებების კოეფიციენტები, მათი განსაზღვრის ცდომილებები და შეფასებულია კოეფიციენტების მნიშვნელობები:

	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$S\{y^{(1)}\}$	$b\{b\}$	$\Delta b$	$b_0$
$y^{(1)}$	4.59	0.99	-2.90	1.64	-0.52	0.99	0.35	1.50	93.35
$y^{(2)}$	4.01	11.92	3.64	1.49	0.35	0.81	0.29	1.25	77.08
$y^{(3)}$	15.63	0.11	-6.11	0.47	0.25	1.42	0.50	2.15	82.17
$y^{(4)}$	0.21	0.16	0.09	0.02	0.04	0.023	0.008	0.034	1.11

$b_i$  მიღებული სიდიდის გაანალიზებისას,  $\Delta b$ -ს გათვალისწინებით, შესაძლებელია მივიღეთ იმ დასკვნამდე, რომ ბარიუმის გამოტუტვის დონეზე  $y^{(1)}$  არსებით ზეგავლენას ახდენს პროცესის ტემპერატურა ( $b_1=4.59$ ), კაზმში  $BaSO_4$  შემცველობა ( $b_3=-2.90$ ) და გამოტუტვის ხანგრძლივობა ( $b_4=1.64$ ).

ის ფაქტი, რომ ს:მ პულპის (სუსპენზია) ზეგავლენის მახასიათებელი კოეფიციენტები იმყოფებიან განსაზღვრის შეცდომის ზღვრებში, მიგვითითებს იმაზე, რომ 6:1 თანაფარდობა სრულიად საკმარისია გამოტუტვისთვის იმავე დონეზე, როგორც 8:1 თანაფარდობისას.

გამოტუტვის შედეგად მიღებულ ხსნარში BaS კონცენტრაციაზე  $y^{(2)}$  არსებით ზეგავლენას ახდენს ს:მ თანადამოკიდებულება ( $b_2=11.92$ ), გამოტუტვის ტემპერატურა ( $b_1=4.01$ ), კაზში BaS შემცველობა ( $b_3=3.64$ ) და პროცესის ხანგრძლივობა ( $b_4=1.49$ ). ამ ოთხივე ფაქტორის დონის ზრდა ზრდის ხსნარში BaS კონცენტრაციას.

ხსნარში BaS კონცენტრაციის მაქსიმიზაციისთვის ჩატარებულ ექსპერიმენტებში გამოყენებულია 61% BaS შემცველობის ალდგენილი მასა და ხდებოდა პულპის ინტენსიური შერევა.

ციცაბო აღმასვლის წირის გასწვრივ (ცხრილი 18) მეოთხე ნაბიჯზე ხსნარში BaS კონცენტრაცია აღწევს საჭირო დონეს, რომელიც შეესაბამება ასეთი ხსნარების შესაბამის ტექნიკურ პირობებს. შემდგომი ნაბიჯების რეალიზაციისას კონცენტრაცია იზრდება კიდევ უფრო დიდი დონით, თუმცა, ამავდროულად მცირდება BaS გამოტუტვის დონე.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, შევჩერდით მეოთხე ნაბიჯის შესაბამის გამოტუტვის რეჟიმზე: :  $\xi_1 = 75^\circ\text{C}$ ,  $\xi_2 = 4.80$ ,  $\xi_3 = 16.5$  წთ. ამ პირობებში ხსნარში BaS კონცენტრაცია აღწევს 118გ/ლ, BaS-ის 92-93%-იანი ამოღებისას.

ცხრილი 18. ხსნარში BaS კონცენტრაციის ოპტიმიზაცია

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	BaS გამოტუტვის დონე, %	BaS კონცენტრაცია გ/ლ
$B_i$	4.01	11.91	1.49		
$P_i$	20	1	5		
$b_i P_i$	80.2	11.91	7.45		
ბიჯი	5	0.7425	0.464		
1	60	7:1	15.00	91.16	79.57
2	65	6.25:1	15.50	89.11	87.12
3	70	5.51:1	16.00	90.91	100.63
4	75	4.78:1	16.40	92.93	118.10
5	80	4.04:1	16.80	88.73	133.66

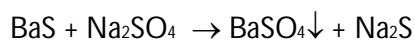


ვინაიდან გამოტუტვის დონე საკმაოდ დაბალია, მასალის დანაკარგების აღსაკვეთად შემოთავაზებულია ორ სტადიანი გამოტუტვა წინაღი დინების მეთოდით.

შემოთავაზებული მეთოდით პირველადი გამოტუტვისას მიღებული 8% BaS შემცველი შლამი მეორე სტადიაზე ექვემდებარება წყლით გამოტუტვას იდენტურ პირობებში. მიღებული BaS სუსტი ხსნარი მიეწოდება ხსნარში კაზმის ახალი პორციის გამოტუტვისთვის. ასეთი ორ სტადიანი გამოტუტვა წინაღი ნაკადით უზრუნველყოფს BaS ამოღებას 99.5% რაოდენობით, დედა-ხსნარში 11-120 გ/ლ BaS შემცველობით. ასეთი ხსნარების გამოყენება სრულიად შესაძლებელია ლითონის და ბარიუმის სხვა ნაერთების წარმოებისთვის, ასევე მადნეულის სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატის მკვ მძიმე ლითონების იონებისგან გაწმენდის ტექნოლოგიაში.

### **3.4. მძიმე ლითონების იონების დალექვისთვის ვარგისი დამლექი რეაგენტის და ბლანფიქსის მიღება**

მადნეულის სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატის მკვ გაწმენდითვის შემოთავაზებული ტექნოლოგიის (ნახ. 16) მიხედვით, აღდგენილი მასის გამოტუტვის შემდგომ მიიღება ბლანფიქსი და დამლექი რეაგენტი შემდეგი რეაქციის მიხედვით:



მეტალების კათიონებთან სულფიდების ურთიერთქმედება შეისწავლებოდა ხელოვნურად მომზადებულ (მოდელოურ) ხსნარებზე. მომზადდა ინდუსტრიულ წყლებში არსებული მეტალების მარილების შემცველი სისტემები თუთიის, სპილენძის და რკინის სულფიდების შემცველობით.

შესწავლილი იქნა ცალკეული კომპონენტების და მათი ნარევის დალექვა სისტემაში სულფიდ-იონის გათვლითი რაოდენობების შეყვანისას (ცხრილები 20, 21). ამ მიზნით მომზადდა მოდელოური ხსნარები

შემცველობით: 1.20 გ/ლ სპილენძის, 1.00 გ/ლ თუთიის, 0.5 გ/ლ სპილენძის შემცველობით, ასევე მათი მარილების ნარევის სისტემა.

ხელოვნურად მომზადებულ ხნარებში სულფიდ-იონის შეყვანისას ილექება რკინის, თუთიის და სპილენძის კათიონები, ამასთან, თუთიის საკმაოდ სრული დალექვა მიიღწევა pH -1.5 ფარგლებში, ხოლო სპილენძის და რკინის pH – 4 დროს (ცხრილი 19), pH-ის ამ მნიშვნელობების მიღწევას ხელს უწყობს დამლექი რეაგენტი, რომლის საკუთარი pH -11-12 უტოლდება, ე.ი. დამლექი რეაგენტი თავადვე წარმოადგენს pH რეგულატორს. მიმოცვლის რეაქციის ხანგრძლივობაა 7-9 წთ., პირველი ორი წუთის დროს დალექვის ეფექტი შეადგენს 97%-ს (ნახ.21).

სპილენძი და თუთია დაილექებიან ნატრიუმის სულფიდით სტექციომეტრული დამოკიდებულებით.

გვერდითი რეაქციების მიმდინარეობის შედეგად რკინის დალექვა მიმდინარეობს უფრო რთული მექანიზმით, ამასთან, რკინის დამოკიდებულება სულფიდთან შეესაბამება ნაერთს - Fe<sub>2</sub>S<sub>3</sub> და დალექვის დასრულებისას ასევე მიმდინარეობს სტექციომეტრულად.

კომპონენტების ჯამის შემცველ სისტემაში კათიონების დალექვის კანონზომიერება ექვემდებარება იმავე პრინციპებს, რაც ცალკეული კომპონენტების დალექვის შემთხვევაში. ე.ი. შეინიშნება სტექციომეტრული წონასწორობა (ცხრილი 20, ნახ. 22).

ცხრილი 19. დალექილი კათიონების ძნელად ხსნადი ნაერთების pH

N	დასახელება	pH	დასახელება	pH
1	Cu(OH) <sub>2</sub>	4.8-7.5	CuS	4.0
2	Zn(OH) <sub>2</sub>	6.4-8.0	ZnS	1.5
3	Fe(OH) <sub>2</sub>	2.5-4.2	FeS	4.0
4	Fe(OH) <sub>3</sub>	7.5-9.7	Fe <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	4.0
5	Cd(OH) <sub>2</sub>	8.2-9.7	CdS	4.3
6	Ni(OH) <sub>2</sub>	7.7-9.5	NiS	3.3
7	Co(OH) <sub>2</sub>	7.6-9.2	CoS	3.3

ცხრილი 20. ცალკეული კომპონენტების კონცენტრაციის ცვლილება ხელოვნურად მომზადებულ ხსნარებში სულფიდ-იონის რაოდენობაზე დამოკიდებულებით

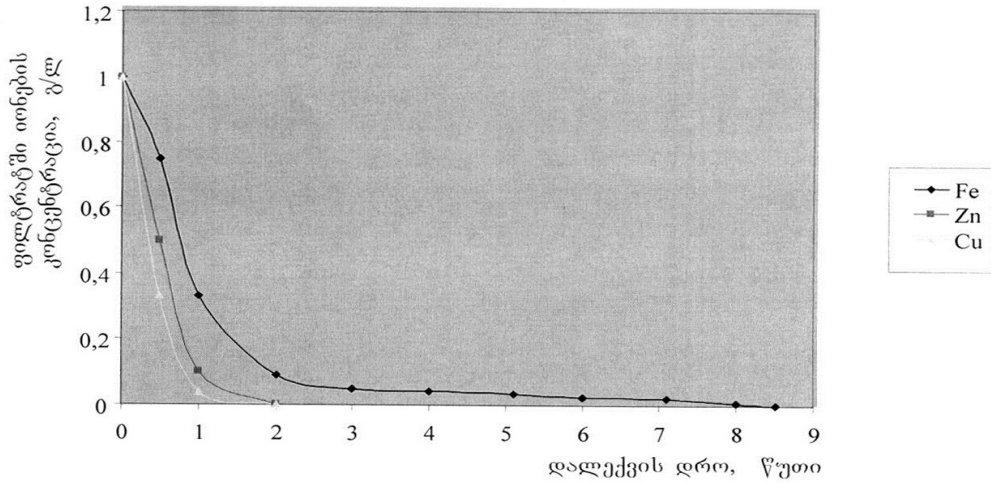
N	pH	S <sup>2-</sup>	Cu <sup>2+</sup>	pH	S <sup>2-</sup>	Zn <sup>2+</sup>	pH	S <sup>2-</sup>	Fe <sup>3+</sup>
		გ	გ/ლ		გ	გ/ლ		გ	გ/ლ
1	2.6	0	1.20	2.6	0	0.90	2.6	0	0.60
2	2.8	0.10	1.00	2.8	0.073	0.75	2.8	0.086	0.50
3	3.0	0.20	0.80	3.0	0.147	0.60	3.1	0.172	0.40
4	3.3	0.30	0.60	3.2	0.220	0.54	3.2	0.258	0.30
5	3.6	0.40	0.40	3.5	0.294	0.30	3.6	0.344	0.20
6	3.9	0.50	0.20	3.7	0.367	0.15	3.8	0.430	0.10
7	4.2	0.60	0	4.0	0.441	0	4.1	0.516	0

ცხრილი 21. ხელოვნურად მომზადებულ ხსნარებში სულფიდ-იონების რაოდენობაზე დამოკიდებულებით სისტემაში Cu<sup>2+</sup>-Zn<sup>2+</sup>-Fe<sup>3+</sup> კომპონენტების კონცენტრაციის ცვლილება

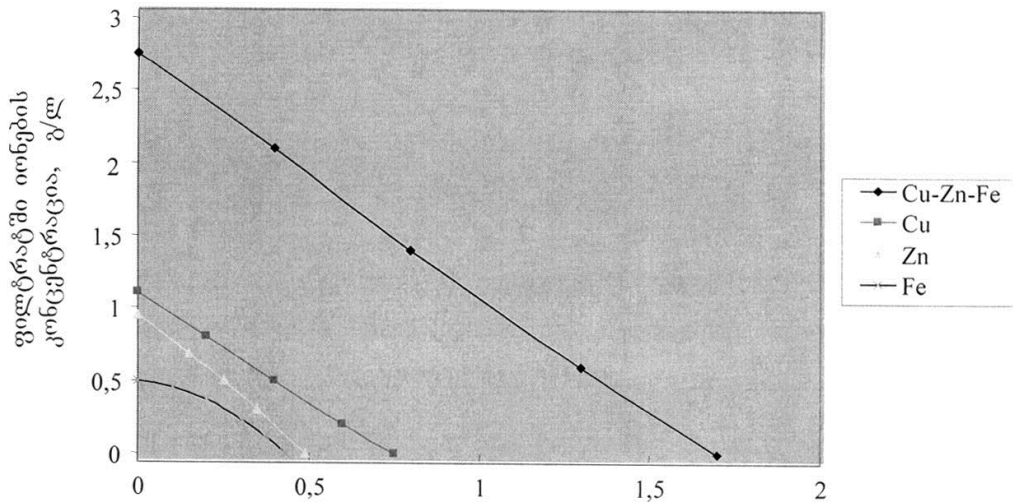
N	pH	S <sup>2-</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>
		გ	გ/ლ		
1	2.6	0	1.200	0.900	0.600
2	2.9	0.26	0.966	0.744	0.540
3	3.2	0.52	0.782	0.611	0.427
4	3.6	0.78	0.585	0.441	0.320
5	3.9	1.04	0.375	0.315	0.310
6	4.2	1.30	0.188	0.157	0.105
7	4.5	1.56	0	0	0

აუცილებელი იყო მოდელურ ხსნარებზე მიღებული კანონზომიერებების შემოწმება მადნეულის სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატის მკწ ინდისტრიულ ნიმუშებზე. მძიმე ლითონების იონების ნატრიუმის სულფიდით დალექვისთვის გამოიყენებოდა წყლიანი ხსნარი 30%-იანი კონცენტრაციით. პროცესი მიმდინარეობდა უწყვეტი მორევით (60-90 ბრ/წთ) 5-10 წუთის განმავლობაში. ექსპერიმენტის დასრულების შემდეგ პულპას აყოვნებდნენ მეტალების სულფიდების დალექვისთვის, ამასთან ერთად ხდებოდა გაწმენდილი ჩანადენის pH და მასში ლითონების იონების შემცველობის (ცხრ. 22) გაზომვა. ექსპერიმენტის მონაცემების

ანალიზის შედეგები გვიჩვენებს, რომ მძიმე მეტალების სულფიდების დალექვა მიმდინარეობს პრაქტიკულად მყისიერად და გაწმენდის ხარისხზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს დამატებული ნატრიუმის სულფიდის რაოდენობა.



ნახ. 21. მეტალების დალექვის დრო  $\text{Na}_2\text{S}$  დამლექვის სტექიომეტრული რაოდენობით დამატებისას



ნახ. 22. მეტალების კონცენტრაციის ცვლილება სულფიდ-იონის კონცენტრაციაზე დამოკიდებულებით

მიღებულ ნალექში სპილენძის სულფიდის შემცველობა შეადგენს 35.5%, ხოლო თუთიის სულფიდის -34.2% და ვარგისია შემდგომი გადამუშავებისთვის სპილენძის და თუთიის ამოღების მიზნით.

უნდა აღინიშნოს, რომ პროცესში ნატრიუმის სულფიდის მოხმარებისას წარმოიქმნება თანაური პროდუქტი - ნატრიუმის სულფატი, რომლის შემცველობა წყალში გაწმენდის შემდეგ შეადგენს 1.62-1.63 გ/ლ, რაც თითქმის 3-ჯერ აღემატება დასაშვებ ნორმას (0.5გ/ლ), ე.ი. ასეთი სახით გაწმენდილი ჩანადენის საერთო კოლექტორში ჩაშვებამდე აუცილებელია 3-4-ჯერადი განზავება.

BaS და Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> შორის ურთიერთქმედების პროცესის რეალიზაციისას, Na<sub>2</sub>S მითითებული რაოდენობის წარმოქმნასთან ერთად მოხდება ფასეული პროდუქტის - ბლანფიქსის დალექვა.

ცხრილი 22. ნატრიუმის სულფიდით კარიერული წყლებიდან მეტალების იონების დალექვის დინამიკა

N	pH	M <sub>Na<sub>2</sub>S</sub>	Cu	Zn	Fe	Pb	Co	Ni	Cr	Cd
		მგ	მგ/ლ							
1	2.6	0	976	619	431	0.54	2.61	2.93	0.18	2.85
2	2.7	300	806	518	359	0.31	1.13	2.61	0.17	1.71
3	2.9	600	634	404	287	0.18	0.04	2.90	0.11	1.53
4	3.3	900	471	288	226	0.05	0	0.70	0	1.14
5	3.7	1200	309	189	140	0		0		0.06
6	4.1	1500	148	88	71					0
7	4.5	1760	0	0	0					

### 3.5. ბარიუმის სულფიდით მეტალების იონების დალექვა

კარიერული წყლებიდან მეტალური კომპონენტების დასაღეჭად გამოყენებულია ბარიუმის სულფიდის განზავებული ხსნარები (30-40 გ/ლ), პროცესის მიმდინარეობდა მორევით (60-90ზრ/წთ). მიღებული მონაცემებიდან კარიერული წყლების მითითებული მეტალებისგან გაწმენდის დონის განმსაზღვრელ ძირითად ცვლად ფაქტორს წარმოადგენს

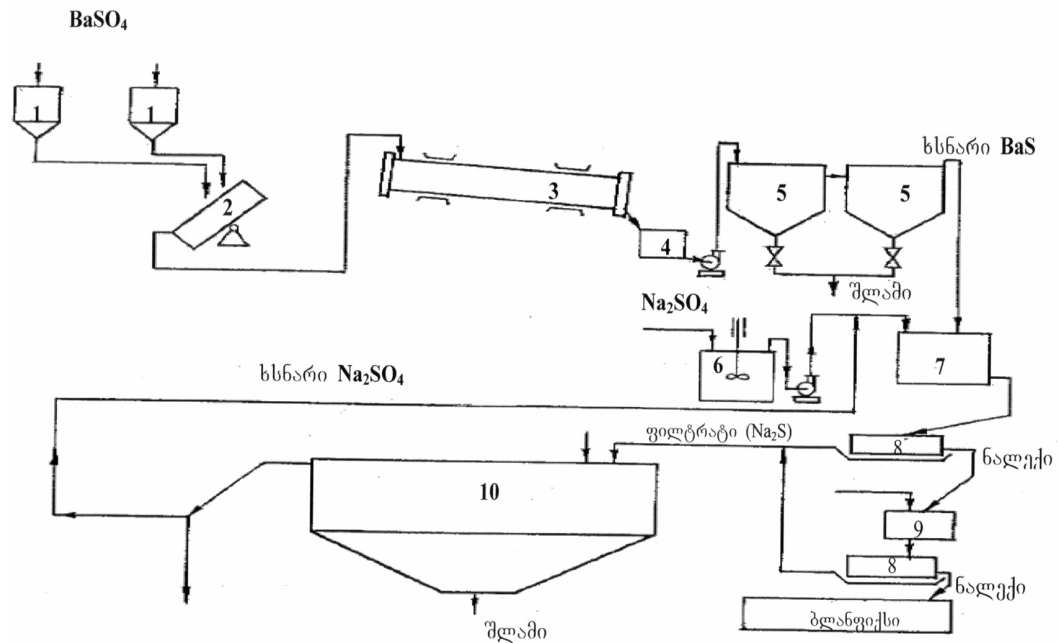
ბარიუმის სულფიდის რაოდენობა. ნალექის დალექვა ფაქტიურად მთავრდება 5-6 წუთში. ექსპერიმენტული შედეგებიდან (ცხრილი 23) გამომდინარე, გამოთვლილია ბარიუმის სულფიდის რაოდენობა, რომელიც საჭიროა მადნეულის სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატის მკვ მძიმე ლითონებისგან ზდკ-მდე (-3000მ<sup>3</sup>/დღე) გასაწმენდად, რაც წარმოადგენს 2.79 ტ/დღე. ეს უკანასკნელი 5-6%-ით აღემატება თეორიულად აუცილებელ რაოდენობას, გაწმენდილი ჩანადენის pH შეადგენს 6.4-7.2. ამასთან, კარიერული წყლების ბარიუმის სულფიდის ხსნარით გაწმენდის შემდეგ მიღებულ ნალექში ძირითადად კონცენტრირდება სპილენძის და თუთიის სულფიდები და ბარიუმის სულფატი. მათი შემცველობა საშუალოდ შეადგენს 28.75% და 71.18% შესაბამისად. ფლოტაციურ გამდიდრებას დაქვემდებარებული 10.34% სპილენძის სულფიდის და 9.83% თუთიის სულფიდის შემცველი ნალექი საშუალებას იძლევა ცალცალკე იქნას მიღებული მეტალების სულფიდების კონცენტრატები და ბარიუმის სულფიდის კონცენტრატი. ეს უკანასკნელი, ბარიუმის სულფიდის მიღების პროცესში დაბრუნებისას მნიშვნელოვნად შეამცირებს (80-90%) ბარიტული კონცენტრატის ხარჯს. ხოლო, სულფიდური კონცენტრატიდან არის სპილენძის და თუთიის, ასევე, კარიერულ წყლებში არსებული სხვა მეტალების ცალცალკე მიღების შესაძლებლობა.

ცხრილი 23. ბარიუმის სულფიდით კარიერული წყლებიდან მეტალების იონების დალექვის დინამიკა

N	pH	M <sub>Ba2S</sub>	Cu	Zn	Fe	Pb	Co	Ni	Cr	Cd
		მგ	მგ/ლ							
1	2.6	0	976	619	431	0.54	2.61	2.93	0.18	2.85
2	2.7	900	814	507	361	0.41	1.40	2.70	0.06	1.90
3	2.8	1800	644	399	295	0.11	0.90	2.30	0	1.43
4	3.0	2700	476	297	221	0	0.28	0.80		1.10
5	3.4	3600	298	183	137		0	0		0.04
6	3.8	4500	151	91	69					0
7	4.2	5300	0	0	0					

მადნეულის სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატის კარიერული წყლების გაწმენდის ტექნოლოგიის შერჩევასა მიზანშეწონილია, უპირველეს ყოვლისა, ამოსავალ წერტილად მიიმე მეტალებისგან მაქსიმალური გაწმენდის შესაძლებლობის მიღება. თუმცადა, ამასთან ერთად, განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს დამლექების შერჩევა და ფასი, მათი მიწოდების შესაძლებლობა და რა თქმა უნდა, პროცესის რეალიზაციის ღირებულება.

შერჩეული დამლექების ( $BaS$ ,  $Na_2S$ ) გამოყენებისას მიიმე და სხვა ლითონების დალეკვა ხდება პრაქტიკულად მყისიერად და ხდება მათგან მკწ-ს გაწმენდა ზდკ-მდე.



ნახ. 23. სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატის კარიერული წყლების გაწმენდის ტექნოლოგიური სქემა. 1. ბუნკერი 2. გრანულატორი 3. მბრუნავი ღუმელი 4. სველი დამსხვრევის წისქვილი 5. დეკანტატორი 6.  $Na_2SO_4$ -ის მოსამზადებელი ავზი 7. რეაქტორი 8. ფილტრი (დოლური) 9. ნალექების რეცხვის ბაკი 10. ნალექის შემასქელებელი

ჩატარებული კვლევების საფუძველზე შემოთავაზებულია მადნეულის სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატის მჭავა კარიერული წყლების გაწმენდის პრინციპული ტექნოლოგიური სქემა (ნახ. 23)

გამოთქმულის გათვალისწინებით, შესაძლებელია მიზანშეწონილად ჩაითვალოს მადნეულის სამთო გამამდიდრებელი კომბინატის შემადგენლობაში ბარიტული კონცენტრატის ბარიუმის სულფიდამდე აღდგენის (კარიერული წყლების გაწმენდისთვის დამლექი რეაგენტის შემდგომი მიღებით) საწარმოს (სას. სიმძლავრე 7-8 ტ/დღე) მშენებლობა. სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატის სისტემაში ბარიუმის სულფიდის მიღებით, ბარიტის აღდგენის პროცესის რეალიზაციის სასარგებლოდ, გარდა ზემოთ ჩამოთვლისა, ასევე, მეტყველებს ისიც, რომ ქვეყნის რამდენიმე წარმოებაში არსებობს მოთხოვნა ბარიუმის სულფიდზე, კერძოდ, მანგანუმის დიოქსიდის (ქ. რუსთავი) და მეტალური ელექტროლიტური მანგანუმის (ქ. ზესტაფონი) წარმოებაში. ამ წარმოებებში ბარიუმის სულფიდი შემოთავაზებულია საწარმოო ხსნარების მძიმე მეტალებისგან გასაწმენდად. ამასთან, ბარიუმის სულფიდის წარმოებიდან ბარიუმის შლამების (ნარჩენები) უტილიზაცია შესაძლებელია ასფალტობეტონის წარმოებისას მინერალური ფხვნილის სახით.



## დასკვნა

1. წარმოდგენილ სამუშაოში მოყვანილია დაბალი ხარისხის გამო გამოყენებული ბარიტ-პოლიმეტალური მადნის გადამუშავების ახალი მიმართულების საფუძველი, რომელიც მდგომარეობს პიროჰიდრომეტალურული პროცესების კომბინირებაში, რაც უზრუნველყოფს გადამუშავებადი ნედლეულის გამოყენების კომპლექსურობას. განხილულია სამთო-გამამდიდრებელი და სამთოგადამამუშავებელი საწარმოების ფუნქციონირებასთან დაკავშირებული ეკოლოგიური პრობლემები და შემოთავაზებულია მეთოდები მოცემული საკითხის გადასაჭრელად.
2. ბარიტული მადნის გამოყენებით კარიერული წყლების გაწმენდის ტექნოლოგიის შემუშავება უზრუნველყოფს საწყისი მასალის კომპლექსურ გამოყენებას და იძლევა მიზნობრივი პროდუქტების (ბლანფიქსი, დამლექი რეაგენტი, ფერადი მეტალები) მიღებასთან ერთად ნარჩენების უტილიზაციის საშუალებას, რაც მიზნად ისახავს გარემოს დაბინძურების თავიდან აცილებას.
3. ბარიტული კონცენტრატის აღსადგენად და დამლექი რეაგენტის სახით სულფიდების გამოყენებით კარიერული წყლების მძიმე მეტალებისგან გაწმენდის საცდელი სამუშაოების შედეგები ამტკიცებენ შემუშავებული ტექნოლოგიის გამოყენების პერსპექტიულობას.
4. შექმნილია მკწ გაწმენდის ტექნოლოგიურად და ეკონომიკურად ხელსაყრელი პროცესი ადგილობრივი ნედლეულის გამოყენებით.
5. განსაზღვრულია pH 4-5 ზღვრები, რომელზეც ხდება მეტალების კატიონების დალექვა. დადგენილია, რომ pH რეგულირება ხორციელდება დამლექი რეაგენტის -  $\text{Na}_2\text{S}$  საშუალებით.
6. მიმოცვლის რეაქცია ნატრიუმის სულფიდსა და მეტალების კატიონებს შორის მიმდინარეობს სტექქომეტრული კანონზომიერების შესაბამისად.

7. მიიღება სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატის ძირითადი პროდუქტის დამატებითი რაოდენობა.
8. შემუშავებული ტექნოლოგია, გარდა ძირითადი მიზნის -მძიმე მეტალების იონებისგან მკწ გაწმენდის მიღწევისა, ასევე უზრუნველყოფს ფასეული სასაქონლო პროდუქტის - ბლანფიქსის მიღებას, რომელსაც აქვს გამოყენების ფართო სპექტრი.
9. იქმნება პირობები, რომლის დროსაც შესაძლებელია გაწმენდილი მკწ წყლების გამოყენება სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატის სპილენძ-სულფიდური მადნების გამდიდრების პროცესში ფლოტაციის პირობების გასაუმჯობესებლად.
10. მინიმუმამდე დაიყვანება მკწ-ს ნიადაგსა და წყლის აუზებში მოხვედრის შემთხვევაში გარემოსთვის საფრთხე.
11. არსებითად უმჯობესდება სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატის წყალმომარაგება, წყლის აუზებიდან ახალი წყლების აღების ჩათვლით.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. სს „მადნეულის“ სპილენძის მადნის მოპოვებისა და სპილენძის კონცენტრატის წარმოების გარემოზე ზემოქმედების შეფასების ანგარიში. შპს „ეკვოტექ კონსალტინგი“, თბილისი, 2008.
2. Цинцадзе Г.И., Андгуладзе Ш.Н., Гаприндашвили В.Н. Выщелачивание восстановленной массы баритового концентрата. Georgian Engineering News, 2003, N3, p. 17-21.
3. Андгуладзе Ш.Н. Очистка карьерных вод Маднеульсково Горнообогатительного комбината от ионов тяжелых металлов. III Республиканская научно-техническая конференция по химии, тезиси докладов, Тбилиси, 2002, с. 107-108.
4. Андгуладзе Ш.Н. Новая технология очистки кислых карьерных вод Маднеульсково Горнообогатительного комбината. «Химическая технология», 2003, №1, с. 20-22.
5. შ. ანდლულაძე, ა. ბერეჟიანი, ნ. ანდლულაძე, ლ. ანდლულაძე - მადნეულის სამთო გამამდიდრებელ კომბინატში რეციკლირების გამოყენების შესაძლებლობა. აკადემიკოს არჩილ ძიძიგურის დაბადებიდან 100 წლისთავისადმი მიძღვნილი სამეცნიერო კონფერენციის „სამთო საქმისა და გეოლოგიის აქტუალური საკითხები“ თეზისები, გრიგოლ წულუკიძის სამთო ინსტიტუტი, 26 დეკემბერი 2014 წ., 1 გვ.
6. შ. ანდლულაძე, გ. მჭედლიშვილი, ა. ბერეჟიანი - მადნეულის სამთო გამამდიდრებელ კომბინატში რეციკლირების პროცესის გამოყენების შესაძლებლობა. საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის მაცნე, ქიმიის სერია, 2017, ტომი 43, N 1, გვ. 104-106.
7. Аксенов В.И., Гринев Д.И. Вопросы переработки химически загрязненных стоков//Экологические проблемы промышленных регионов: Сб. Науч. Трудов Междунар. Науч.-техн. Конф. – Екатеринбург, 2003. –Сю 242-243.

8. ანდლულაძე შ., ბერეჟიანი ა. მადნეულის სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატის მუავა კარიერული წყლების გაწმენდის ტექნოლოგიის დამუშავება. "ინტელექტუალი" 2008 # 6, გვ. 85-89.
9. Андгуладзе Н.Ш. Новая технология очистки кислых карьерных вод Маднеульсково Горно-обогатительного комбината. «Химическая технология», 2003, №1.
10. Андгуладзе Н.Ш. Очиска карьерных вод Маднеульсково Горно-обогатительного комбината от тяжелых металлов. III Республиканская научно-техническая конференция по химии, тезиси докладов, Тбилиси, 2002 (на грузинском языке).
11. Климентов П.П. Сыроватко М.В. Гидрогеология месторождения твердых полезных ископаемых. М.: Недра, 1966. Ч. I. – 198 с.
12. Посохов Е.В. Формирование химического состава подземных вод. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1969. – 333 с.
13. Воробьев Б.М., Бурчаков А.С. Основы технологии горного производства. – М.: Недра, 1973. – 338 с.
14. Сластунов С.В., Королева В.Н., Коликов К.С. и др. Горное дело и окружающая среда: Учебник. - Логос, 2001 – 272 с.
15. Гаприндашвили В.Н., Андгуладзе Н.Ш., Чарквиანი Т.О. Ликвидация отходов образующихся в процессе переработки сульфидного сырья. Международная конференция, «Химия и химическая технология – достижения и перспективы», тезисы докладов, Тбилиси, 1997.
16. Андгуладзе Н.Ш., Гаприндашвили В.Н. и др, Очиска карьерных вод от ионов тяжелых метталлов с применением сульфидных соединений. Химический Журнал Грузии, т.8, №1, 2008, стр. 76-78.

17. ანდლულაძე შ., ბერეჟიანი ა. სპილენძის ამოღების ტექნოლოგია სამთო მომპოვებელი მრეწველობის ტექნოგენური წყლებიდან. საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის მაგნე, ქიმიის სერია, 2008 #2, ტომი 34 გვ. 221-224.
18. Андгуладзе Н.Ш., Ломая Т., Чанкотадзе М.К., Мшвилდაдзе М. Очистка кислых карьерных вод от ионов тяжелых металлов. Грузия, Тбилиси, 2006, стр. 67-68.
19. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе и в воде. Справочное пособие. Изд. «Химия», Ленинград. 1972 стр. 375.
20. Dobrevsky I.D., Panayotova T.G., Dimova-Todorova M.I. Ion-exchange purification of wastewater from electroplating plants and treatment of the waste effluents. Bulg. Chem. Commun. 2000, vol. 32, NN 3-4, pp. 455-464.
21. Копылов Н.И., Каминский Ю.Д. Вывод мышьяка из металлургического производства тяжелых цветных металлов. «Химическая технология», 2002, №5, с. 25-32.
22. Foucout F., Chane Ching Jean Y. Utilisation du sulfure de barium ou du sulfure de strontium pur l'élimination de métaux lourds dans les solutions sulfuriques industrielles et procede d'élimination employant ces reactifs. Pat. 2722773 France, IPC 6 C 02 F 1-62.
23. Кундо Н.Н., Иванченко В.А., Мишаков И.В., Поплаухин П.В. Исследование влияния серосодержащих восстановителей на процессы удаления хрома (VI) из водных растворов. Химия в интересах устойчивого развития, 1999, т.7 №5, с. 485-490.
24. Авдохин В.М., Абрамов А.А. Окисление сульфидных минералов в процессах обогащения. – М.: Недра, 1989. -231с.
25. Васильев Б.Т., Гаприндашвили В.Н. Удаление мышьяка железных порошком в системе гидроудаления пиритного огарка сернокислотного производства. Сообщения АН ГССР, 1979, 93, №1, изд. «Мецниереба».

26. Соложенкин П.М., Небера В.П. Гальванохимическая обработка сточных вод.// Экология и промышленность России. -2000, июль. С. 10-13.
27. Никифоров А.Ф., Брызгалова Н.В., Мигалатий Е.В. и др. Извлечение тяжелых металлов из природных вод активированными углями// Экологические проблемы промышленных регионов: Сб. науч. трудов Междунар. науч.-техн. конф. –Екатеринбург, 2003.- С. 273-274.
28. Никифоров А.Ф., Брызгалова Н.В., Мигалатий Е.В. и др. Сорбция тяжелых металлов из природных вод синтетическими ионообменными смолами// Экологические проблемы промышленных регионов: Сб. науч. трудов Междунар. науч.-техн. конф. –Екатеринбург, 2003.- С 271-273.
29. Рыльникова М.В. и др. Совершенствование процесса извлечения меди из медьсодержащих промышленных растворов // ГИАБ.-М.: 2001.-№2, с.75-77.
30. Козырев Е. Н., Величко Л.Н., Рубановская С.Г. и др. Очистка стоков промышленных предприятий глинистыми минералами// ГИАБ.- 2002. - №5. С. 1899-192.
31. Андгуладзе Н.Ш. Очистка карьерных вод Маднеульсково ГОК-а от ионов тяжелых металлов. Ж. «Керамика», 2001, №2(6).
32. თვალჭრელიძე, ა. სილაგაძე, გ. ქეშელაშვილი, დ. გეგია. საქართველოს სოციალურ-ეკონომიკური განვითარების პროგრამა. გამომცემლობა „ნეკერი“, ISBN 978-9941-416-80-4 © ფონდი ღია საზოგადოება, © მდგრადი განვითარების საერთაშორისო ფონდი საქართველო 2011.
33. Джаошвили О.А., Гаприндашвили В.Н., Зедгинидзе И.Г.. Статистическая оптимизация выхода сульфида бария при восстановлении бариевых шламов, Сообщения АН ГССР, 1968, т.50, №1.
34. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on Waste and repealing certain Directives.

35. Directive 2006/21/EC of the European Parliament and of the Council of 15 March 2006 On the Management of Waste from Extractive Industries and Amending Directive 2004/35/EC.
36. ა. ბერეჟიანი - სამთო მოპოვებითი მრეწველობის ნარჩენების მართვის ევროპული მიდგომები და მოთხოვნები. საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენციის „თანამედროვე საინჟინრო ტექნოლოგიები და გარემოს დაცვა“ შრომების კრებული, I ნაწილი. აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი, საქართველო, 19-20.05.2016, გვ. 67-69.
37. A. Berejiani – POPs Management Issues in Georgia. Proceedings of International Scientific Conference “Modern Researches and prospects of their Use in Chemistry, Chemical Engineering and related Fields”. September 21-23, 2016, Ureki, Georgia, p. 134.
38. A. Berejiani – POPs Management Issues in Georgia. Proceedings of the Georgian National Academy of Sciences, Chemical Series, 2016, Vol. 42, N 3, pp. 395-397.
39. ა. ბერეჟიანი - ნარჩენებიდან ენერჯის აღდგენის მარეგულირებელი ევროპული მოთხოვნები და მიდგომები. IV სამეცნიერო კონფერენციის „ენერგეტიკა - რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ მოხსენებების კრებული. აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი, საქართველო, 29.10.2016, გვ. 293-295.
40. Andguladze Sh.N., Berejiani A.M., Mchedlishvili G.S. – Mining and Extractive Industries Waste Management: Modern Approaches. Georgian Engineering news, 2016, N 4, pp. 98-99.
41. Справочник по физико-химическим методам исследования объектов окружающей среды. Изд. «Судостроение». Ленинград. 1979, 646 с.
42. Тарасевич Н.И. Руководство к практикуму по спектральному анализу. С. 96-104.

43. საქართველოს ტერიტორიაზე ზედაპირული წყლების დაბინძურების წელიწადწეული; გარემოს ეროვნული სააგენტოს გარემოს დაბინძურების მონიტორინგის დეპარტამენტის 2015 წლის მონაცემები. 2016 წ; გვ. 22-24.
44. ანდლულაძე შ., მჭედლიშვილი გ., ბერეჟიანი ა. მადნეულის სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატის მუავა კარიერულ წყლებში მეტალების დალექვის პირობების შესწავლა. საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის მაცნე, ქიმიის სერია, 2009 #3, ტომი 35, გვ. 59-61.
45. Картвелов А.Д., Иванов В.И. “Переработка бариевых минералов на соли бария”, Петроград, 1917.
46. Юшкевич Н.Ф., Спиридонов Н.М. Получение сернистого и хлористого бария из барита. «Минеральное сырье», 5. 1926, с. 374-382.
47. Ложкин А.Ф., Печковский В.В., Субочева Н.Л. Восстановительный обжиг кускового барита. Сб. трудов Пермского политехнич. ин-та, 1961, №10, с. 57-63.
48. Шушунов В.А., Садовникова Г.И., Андреев Б.Я. Кинетика восстановления сульфата бария. Ж. Физическая химия, 28, 8, 1954.
49. Шилов Е.Н., Будников П.П. Изв. Иваного-Восресенского политехн. ин-та, 10.57, 1927.
50. Будников П.П., Сысоев А.Н. Украинский химический журнал, 3, 2, 113, 1938.
51. Гинстлинг А.М. К физической характеристике кристаллической мелкозернистых масс. Ж. Прикладной химии, 25, 3, 1952.
52. Гинстлинг А.М. О механизме реакций в смесях твердых веществ. Ж. Прикладной химии, 25, 3, 1952.
53. Гинстлинг А.М. О механизме реакций твердых веществ. Ж. Прикладной химии, 25, 5, 1952.



54. Позин М.Е., Гинстлинг А.М., Печковский В.В. О взаимодействии твердых веществ при отсутствии непосредственного контакта между ними. Ж. Прикладной химии, 27, 3, 1954.
55. Печковский В.В. О роли газовой фазы в реакциях между твердыми веществами. Ж. Прикладной химии, 27, 4, 1954, с. 376-381.
56. Юшкевич Н.Ф., Спиридонов П.М. Получение сернистого и хлористого бария из барита. «Минеральной сырьё», 12, 1927, с. 803-820.
57. Пудовника О.И., Толстикова Е.И. Получение сернокислого бария из расплава барита. Тр. Уральского НИ химического ин-та, 1955, №3, с. 130-132.
58. S.S. Bratnagar, S. Parthasarathe, A.L. Sundara Rao I. sei. Ind. Pes (india), 3, 1944.
59. Димчишин Д.А. Производство бариевых солей, ГОНТИ, 1938, 152с.
60. Ипатьев В.И., Василевский В.В. Ж. Прикладной химии, 2, 6, 1929.
61. Немецкий патент, 460572, 1924.
62. Зворыкин А.Я. Разложение сульфатов хлором. Ж. Прикладной химии, 9, 1, 1935.
63. Franh Pitts, Eng.pat.867, 196, may 3, 1961.
64. Печковский В.В., Сафронова А.Лю Хлорирование сульфата бария в расплаве хлоридов. Ж. Прикладной химии, 1966, т. 39, №10, с.2153-2157.
65. Нагорный Г.И. Зимина Т.Д. Необратимо-взаимная система из хлоридов и сульфатов натрия и бария. Изв. физич. химии при Иркутском Государственном Университете, 1953, т.2, Т1, с. 31-40.
66. Патент ФРГ 1177122, 1965.

67. Adhirari M. Roy K. Soland Culhore, 23, 10, 1968.
68. ვ. რუხაძე. ბარიტების აღდგენის ზოგიერთი კინეტიკური კანონზომიერებისა და მინარევთა გავლენის გამოკვლევა მდურარე შრის რეაქტორში. მეცნიერება და ტექნოლოგიები, 2001, 10-12, გვ. 1170-1179.
69. შ. ანდლულაძე, ა. ბერეჟიანი, მ. ბერეჟიანი, გ. მჭედლიშვილი - ფსევდოგათხევადებული შრის ჰიდროდინამიკის კომპიუტერული სიმულაცია გრანულირებული ბარიტების აღდგენის პროცესისთვის. საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის მაცნე, ქიმიის სერია, 2017, ტომი 43, N 1, გვ. 38-40.
70. Браяловская В.Л., Бердышева Г.В., Попов А.Н. Использование процесса сульфатредукции для очистки подотвальных вод от сульфатов и ионов металлов. Международная конференция «Экологическая безопасность на пороге XXI века». Санкт-Петербург, Таврический дворец, 30-31 марта. СПб. Изд-во ВСЕГЕИ, 1999, с.46.
71. Рогозин В.И. Иващенко А.А., Ковтуненко С.В., Жирнов Б.С., Алексеев С.В., Муртазин Ф.Р. Способ удаления сульфидов из сточных вод. Теория и практика массообменных процессов химической технологии: Марушкинские чтения: Материалы Второй Международной научной технологии, Уфа, 30 окт. – 1 нояб., 2001. Уфа, Изд-во УГНТУ, 2001, с. 166-167.
72. Гаприндашвили В.Н., Джаошвили О.А., Зедგენიძე И.Г. Стаистическое описание процесса восстановления бариевых шламов. Тр. Грузинского Политехнического ин-та, №8 (128), 1968.
73. Зедგენიძე И.Г., Гаприндашвили В.Н., Джаошвили О.А., К вопросу минимизации затрат на восстановление бариевых шламов. Тр. Грузинского Политехнического ин-та, №2 (130), 1969.
74. Киппович Ю.К., Морачевский Ю.В. Анализ минерального сырья, Л. 1959, 1055 с.

75. Гаприндашвили В.Н., Джаошвили О.А., и др. Грануляция баритового концентрата для химической промышленности. Изд-во ГНИИ техн. инф., 2, 1974.
76. Сайфулин Н.Ш. Авт. свид. 145229, 1981.
77. Редвель А.А., Новиков Н.А. О восстановлении барита углеродом. Ж. Прикладная химия, 36, 7-9, 1963.
78. K.W. LIWIS, Bull. Bur. Mines, Barium. 1965, N630, pp. 91-99.
79. Сайфулин Н.Ш., Стригунов Ф.И., Гаврилова З.Ф. Авт. свид. 202888, 1966.
80. Будников П.П., Некрич М.М. О механизме восстановления сульфатов углеродом в твердой фазе. Химическая промышленность, 7, 1955.
81. Бучукури И.Г. Бучукури Н.И. Восстановления флотационного барита. Тр. Грузинского Политехнического ин-та, 1967, №4 (116), с. 25-34.
82. Стригунов Ф.И., Сайфулин Н.Ш., Гаврилова З.Ф. Восстановления баритового концентрата во вращающихся барабанных печах. Химическая промышленность, 3, 1967.
83. Стригунов Ф.И., Сайфулин Н.Ш., Гаврилова З.Ф. Восстановления гранулированного баритового концентрата. Химическая промышленность, 3, 1968, №6 (42), с. 15-17.
84. Марданова М.К., Баласанов А.А. и др. Авт. свид. 183307, 1966.
85. Печковский В.В., Кетов А.Н. Исследования восстановления сульфата бария окисью углерода при высоких температурах. Ж, Прикладная химия, 33, 8, 1960.
86. Печковский В.В., Кетов А.Н. Особенности восстановления сульфатов твердыми и газообразными восстановителями. Сб. научных трудов Пермского политехнич. ин-та, 1961, №10, с. 3-32.

87. Амирова С.А., Печковский В.В., Кетов А.Н. Термодинамический анализ реакций восстановления водородом сульфатов бария. Сб. научных трудов Пермского политехнич. ин-та, 1961, №10, с. 33-51.
88. Шахтактинский Г.Б. Восстановления барита естественным нефтяным газом. Азерб. химический журнал, 1960, №2, с. 135-139.
89. Salfi J. Fiamara Riv. Combust. 1958, 12, N 7-8, pp. 525-561.
90. Henszelman Frigyes "Veszpremi vigyipari eguat", Kozt. 7,1, 1963.
91. Сайфулин Н.Ш., Гаврилова З.Ф. Восстановления баритовых концентратов в псевдооживленном слое. Химическая промышленность, Киев, 1965, №3, с. 32-35.
92. ბერეჟიანი მ., ბერეჟიანი ა.- მადნეულის სპილენძის კონცენტრატის ეკოლოგიურად გამართლებული გადამუშავების პერსპექტივა საქართველოში. " საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის მაცნე", ქიმიის სერია, 2008, ტომი 34, #2, გვ. 193-196.
93. მ. ბერეჟიანი, ი. მეტრეველი, ა. ბერეჟიანი - ბირთვული ენერგეტიკის მასალები და მადნეულის კონცენტრატი - კომპლექსური ტექნოლოგიების პოტენციალი. IV სამეცნიერო კონფერენციის „ენერგეტიკა - რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ მოხსენებების კრებული. აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი, საქართველო, 29.10.2016, გვ. 236-240.
94. Борбат В.Ф., Мухин В.А., Андреева Л.Н., Новикова И.М., Шаркова Г.И. Способ очистки сточных вод гальванического производства от ионов тяжелых металлов. Пат. 2033972, Россия, МПК: С 02 F 1-62. Оpubл, 30.04.95, бюл. №12.
95. Андгуладзе Ш.Н. Кинетика сернокислотного выщелачивания пиритных огарков. «Химическая технология», 2002, №11, с. 24-26.
96. Андгуладзе Ш.Н. Сульфатизация как способ комплексной переработки пиритных огарков. «Химическая технология», 2002, №12, с. 21-23.

97. Гаприндашвили В.Н., Джаошвили О.А., Гогоришвили Р.П., Керкадзе Дж.В., Андгуладзе Ш.Н. Выпарка технологических растворов сульфата железа (III) Изв. АН ГССР, серия химическая, 1983, т. 9, т. 9, №3, с. 235-237.
98. Гаприндашвили В.Н., Васильев Б.Т., Джаошвили О.А., Гогоришвили Р.П., Андгуладзе Ш.Н., Керкадзе Дж.В. Исследование возможности комплексной переработки пиритных огарков. Изв. АН ГССР, серия химическая, 1983, т. 9, т. 9, №1, с. 53-60.
99. Андгуладзе Ш.Н. Сернокислотная переработка пиритных огарков. Ж. «Керамика», 2000, №2 (4), с. 16-17.
100. Андгуладзе Ш.Н. Чкония М.И. Кашакашвили Л.Л., Джимшелеишвили Г.Г., Мамулашвили М.А. Работа системы гидроудаления пиритного огарка на Череповецком химическом заводе. Министерство высшего и среднего специального образования, ГПИ им. В.И. Ленина, научные труды, №5 (347), Тбилиси, 1989, с. 44-46.
101. Андгуладзе Ш.Н. Разработка технологии осаждения мышьяка в системе гидроудаления пиритного огарка в производстве серной кислоты. Ж. «Керамика», 2000, №2 (4), с. 18-20.
102. Андгуладзе Ш.Н. Использование транспортирования пиритных огарков в производстве серной кислоты. III Республиканская научно-техническая конференция по химии, тезиси докладов, Тбилиси, 2002, с. 106-107.

დანართი

## დანართი 1. სს მადნეულის გარემოსდაცვითი მმართველის შეფასება

გავეცანი საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის დამამთავრებელი კურსის დოქტორანტის - ანა ბერეჟიანის სადისერტაციო თემის ნაშრომს - „რეციკლირება, როგორც მადნეულის სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატის მჟავა კარიერული წყლების გაწმენდის ტექნოლოგია“.

შესრულებულ სამუშაოში წარმოდგენილი თემა - სპილენძშემცველი ტექნოგენური რესურსების გადამუშავებისას წარმოქმნილი მჟავა კარიერული წყლების მძიმე მეტალების იონებისაგან გაწმენდა აქტუალურია ჩვენი კომპანიისთვის.

იმის გათვალისწინებით, შემოთავაზებული ტექნოლოგია, გარდა მჟავა კარიერული წყლების გაწმენდისა, ასევე ითვალისწინებს დასაწყობებული ნედლეულის გამოყენებას, რომლის გადამუშავებით ხდება გამოყენების ფართო სპექტრის მქონე კონკურენტუნარიანი პროდუქტის, \_ ბლანფიქსის მიღება, სამომავლოდ განვიხილავთ აღნიშნული ტექნოლოგიის დანერგვის საკითხს.

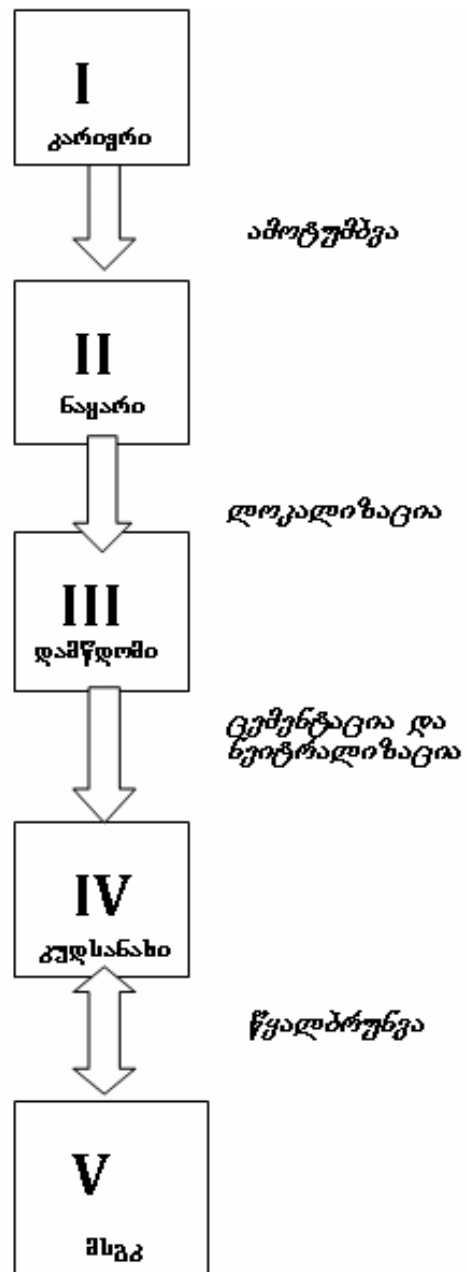
სს RMG Copper-ის გარემოსდაცვითი მმართველი

კონსტანტინე ხაჭაპურიძე



01.06.17

დანართი 2. მსგკ-ში არსებული მკვ გაწმენდის არსებული სქემა





### დანართი 3. ატომ-აბსორციული სპექტრომეტრი AAnalyst 600



გრაფიტის კიუვეტი

#### დანართი 4. წისქვილი, ფლოტაციის პროცესი



დანართი 5. შზა პროდუქცია, კუდსაცავი



შესქვლების უბანი



ფლოტაციის პროცესი



შზა პროდუქციის ჩატვირთვა



დაფასოებული პროდუქცია



შზა პროდუქცია



კუდსაცავი

## დანართი 6. კუდსაცავი



კუდსაცავის დამბა



შემესები კოლექტორი



კუდსაცავის სარკე



კუდსაცავის მიღსადენი

დანართი 7. კარიერი



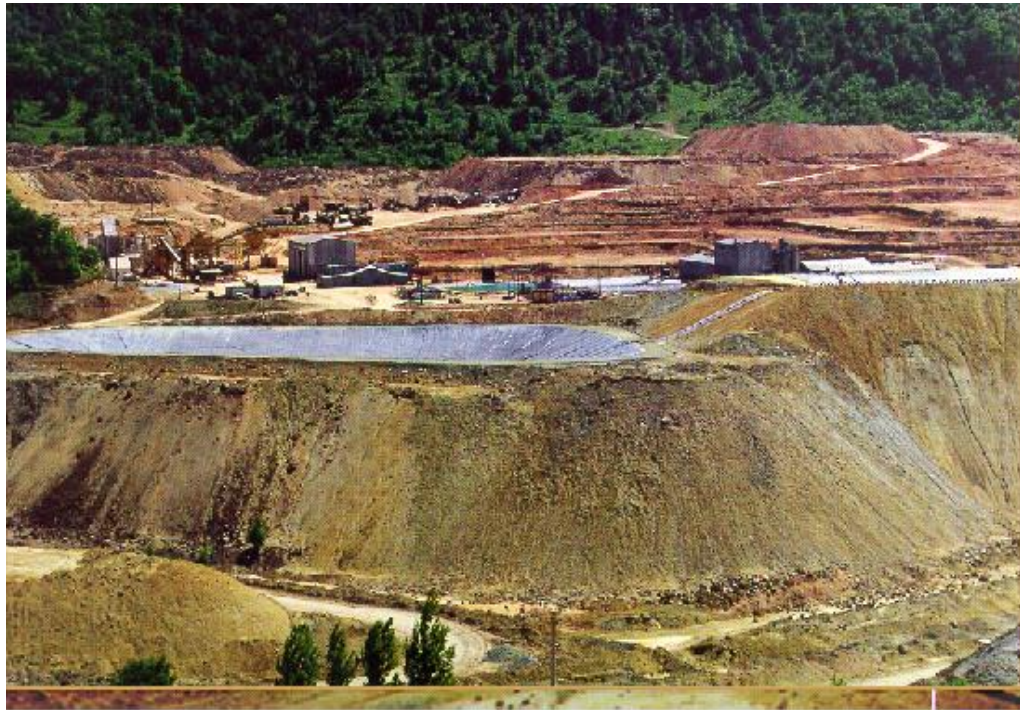
## დანართი 8. ნაყარი



დანართი 9. კოლექტორი



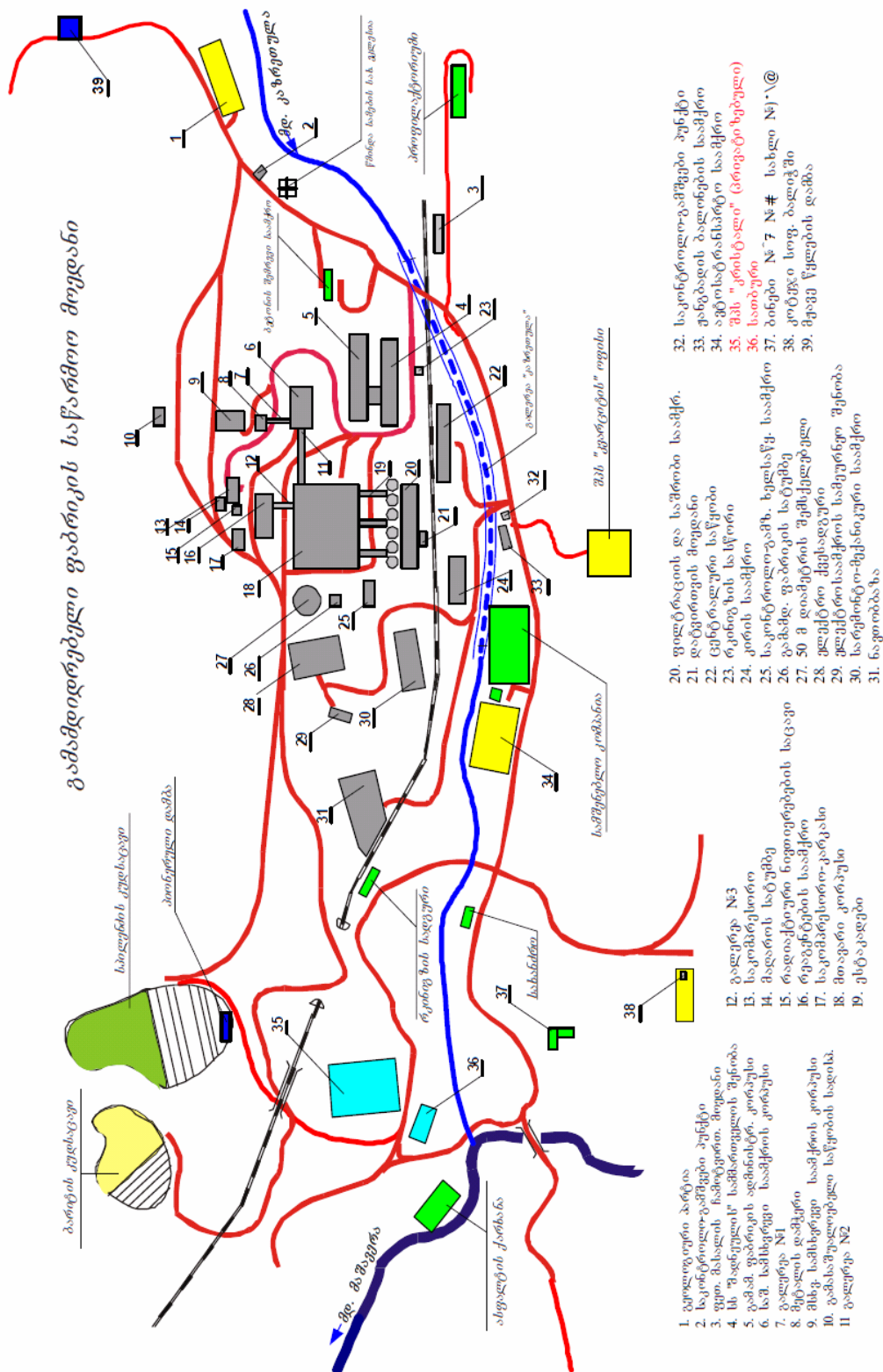
დანართი 10. მადნეულის სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატი







## დანართი 12. ტოპოგრაფიული რუკა



1. ბაიონური პარკი
2. საკონტროლო-გამზები პუნქტი
3. ფიზიკ. მხარის ჩამოკრები
4. სს "უადრეულო" სამხარეულო შენი
5. გამამდიდრებელი ფაბრიკის ადმინისტრ. კორპუსი
6. ს.შ. სამხარეულო საამქრო
7. გადამამდიდრებელი
8. მტკიცების დაამქრო
9. მტკიცების დაამქრო
10. გამამდიდრებელი საამქრო
11. მთავარი კორპუსი
12. გადამამდიდრებელი
13. საკონტროლო-გამზები
14. მადარის საამქრო
15. რადიო-ტელევიზიის საამქრო
16. რეკონსტრუქციის საამქრო
17. საკონტროლო-გამზები
18. მთავარი კორპუსი
19. მთავარი კორპუსი
20. ფულტრაციის და საშობი საამქრო
21. დაამდიდრებელი მოედანი
22. ცენტრალური საწარმო
23. რეკონსტრუქციის საამქრო
24. კორპუსი
25. საკონტროლო-გამზები
26. გამამდიდრებელი
27. 50 მ დამამდიდრებელი
28. ფულტრაციის საამქრო
29. ფულტრაციის საამქრო
30. საკონტროლო-გამზები
31. საკონტროლო-გამზები
32. საკონტროლო-გამზები
33. ფულტრაციის საამქრო
34. საკონტროლო-გამზები
35. შპს "კარბიტი"
36. საკონტროლო-გამზები
37. პუნქტი
38. საკონტროლო-გამზები
39. საკონტროლო-გამზები