

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ლ. გვერდწითელი, ი. ბაზლაძე,  
ჯ. გუგეშიძე, თ. შარაშიძე

ბარემოს ობიექტების დაცვის  
ანალიზის მეთოდები და საშუალებები

ლაბორატორიული პრაქტიკუმი

I ნაწილი



დამტკიცებულია სტუ-ს  
სარედაქციო-საგამომცემლო  
საბჭოს მიერ

თბილისი  
2007

განხილულია გარემოს ობიექტების გამაჭუჭყიანებელი მავნე ნივთიერებების კონცენტრაციების განსაზღვრა ფოტოკოლორიმეტრული და ატომურ-აბსორბციული სპექტრომეტრული მეთოდებით. ასევე მოცემულია სამრეწველო წყლების გაწმენდის აღსორბციული, ელექტროდიალიზური, ელექტროკოაგულაციური, უკუოსმოსის, ულტრა-ფილტრაციისა და გაფილტვრის მეთოდები. მათი შესწავლა და გამოყენება დაეხმარება როგორც ბაკალავრებს, ასევე მაგისტრანტებს დამოუკიდებელი მუშაობის დროს წყლის ხარისხის დადგენაში.

განკუთვნილია ქიმიური და ბიოტექნოლოგიური, მეტალურგიული, ასევე სამთო-გეოლოგიური, ჰიდროტექნიკის, თბოენერგეტიკის, მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტების სტუდენტებისათვის, რათა აწარმოონ სამრეწველო ჩამდინარე წყლების კონტროლი, შეარჩიონ გაწმენდის მეთოდები და დაიცვან წყალსატევები დაბინძურებისაგან.

რეცენზენტი: ტ.მ.დ., პროფესორი

ლ. გვასალია

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2007

ISBN 978-99940-955-0-6 (ორივე ნაწილი)

ISBN 978-99940-955-1-3 (პირველი ნაწილი)

## შ ე ს ა მ ა ლ ი

ცივილიზაციის განვითარებას დღემდე თან სდევს წყლის ბუნებრივ ობიექტებზე და მათ ეკოსისტემებზე დატვირთვის მატება. ირდევია ბუნებრივი კოდროლოგიური და ჰიდროქიმიური რეჟიმი, იზრდება ანთროპოგენული წარმოშობის დამრღვევი ნივთიერებების მასა. თუ არ მოხდა ამ პროცესების მეცნიერული შესწავლა და მათ გადასწვევად სამეურნეო-პრაქტიკული გამოცდილების გამოყენება, ყველა ეს ნეგატიური გამოვლინება მილიონობით ადამიანის ჯანმრთელობასა და სიცოცხლეს რეალურ საფრთხეს შეუქმნის: კერძოდ, მსოფლიო მოსახლეობის ჯანმრთელობის უფრო დიდ მასშტაბის ზიანს აყენებს უვარგისი წყლის სასამელად გამოყენება, ვიდრე სტიქიური უბედურება.

საქართველოს ტერიტორიის ფიზიკურ-გეოლოგიური, კლიმატური, თუ სხვა ბუნებრივ პირობების მრავალფეროვნება, ისტორიულად ჩამოყალიბებული ეთნოკულტურული ურთიერთობების სახეობები და ფორმები მნიშვნელოვანწილად აპირობენ რესპუბლიკის მოსახლეობის სასიცოცხლო გარემოს, მათ შორის ჰიდროსფეროს მდგომარეობას და მასზე ადამიანის ზემოქმედების თავისებურებებს.

სახალხო-სამეურნეო ინტეგრაციისა და სასოფლო-სამეურნეო წარმოებაში ინდუსტრიული მეთოდების დანერგვა მკვეთრ უარყოფით გავლენას ახდენს მიწისქვეშა და ზედაპირული წყლების რაოდენობრივ და ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე.

უნდა აღინიშნოს, რომ ზედაპირული და ნაწილობრივ მიწისქვეშა წყლების გაჭუჭყიანებას აქვს რეგიონალური ხასიათი. ასეთ მდგომარეობის მთავარ მიზეზს წარმოადგენს სხვადასხვა მრეწველობის საწარმოებისა და საყოფაცხოვრებო-სამეურნეო ჩამდინარე წყლების ნაკადების ჩაშვება წყალსაცავებში.

საქართველოს ტერიტორიაზე შესწავლილი ობიექტებიდან (როგორც ზედაპირული, ასევე მიწისქვეშა) თითქმის 80% გაჭუჭყიანებული აღმოჩნდა ამონიუმის ნიტრატით და ნიტრიტების აზოტით, მძიმე მეტალებით, ფენოლებით, დღტ, ნავთობპროდუქტებითა და ჰერბიციდებით. ამიტომ სამრეწველო ჩამდინარე წყლების კონტროლს და მათი გაწმენდის ეფექტური მეთოდების შესწავლას და გამოყენებას დიდი მნიშვნელობა აქვს.

წინამდებარე ნაშრომში განხილულია ფოტოკოლორიმენტული, ატომურ-აბსორბციული სპექტრომეტრიული მეთოდებით გარემოს გამაჭუჭყიანებლების კონცენტრაციების განსაზღვრა და ჩამდინარე წყლების გაწმენდის აღსორბციული, ელექტროკოაგულაციის, ელექტროლიზის უკუოსმოსის, ულტრაფილტრაციისა და გაფილტვრის მეთოდები.

**თავი 1. აზოტოვანი მარილების წარმოებისა და  
ქლორშემცველი ჩამდინარე წყლის კონტროლი  
და გაწმენდის ტექნოლოგიური პროცესის სქემის  
დაპროექტება ელემენტაროდიალიზის მეთოდის  
გამოყენებით**

უნარჩუნო ტექნოლოგიის განვითარების ერთ-ერთი ძირითადი მიმართულებაა ჩამდინარე წყლების გაწმენდის არსებული და პერსპექტიული მეთოდების ბაზაზე სხვადასხვა სახის უჩანადნო სქემებისა და წყალბრუნვის ციკლების შემუშავება. დაბინძურებული ჩამდინარე წყლები წყალსატევში კი არ ჩაედინება, არამედ ადგილზევე სუფთავდება და უბრუნდება საწარმოო ციკლს, რითაც სუფთა წყალზე მოთხოვნილება მკვეთრად მცირდება, რადგან მრავალჯერ გამოიყენება.

აზოტის ნაერთები გამოიყენება აზოტმჟავას, ხელოვნური აბრეშუმის ფარმაცევტული, მინერალური სასუქებისა და სხვა წარმოებაში.

აზოტმჟავას მნიშვნელოვანი როლენობა გამოიყენება აზოტოვანი სასუქებისა და მარილების წარმოებაში, ასევე ამიაკი გამოიყენება სოდის, აზოტმჟავისა და აზოტშემცველი სასუქების წარმოებაში.

ჩამდინარე წყალი წარმოიქმნება ამართქლებელი აპარატებიდან და ნეიტრალიზატორებიდან კონდენსატის სახით, პროდუქტის გაციებისას, ქვაბ-უტილიზატორებიდან, აპარატურის გამორეცხვისას და ა.შ. ჩამდინარე წყლის ხარჯი შეადგენს ~0,6-0,8 მ<sup>3</sup>/ტ.

ქლორის ნაერთები გამოიყენება ქიმიური სინთეზის, პიგმენტების, ქაღალდის, პესტიციდების, ქლორიანი კირის, მეტალურგიულ, საფეიქრო, მარილმჟავასა და სხვა წარმოებაში.

მინერალურმა ნივთიერებების ჭარბი დოზა ტოქსიკურ გავლენას ახდენს ადამიანის ორგანიზმზე და მცენარეებზე. ამიტომ ასეთი ჩამდინარე წყლების კომპრობი და გაწმენდის ეფექტური მეთოდების შერჩევა მნიშვნელოვანია.

### **1.1. ქლორიდების განსაზღვრა**

ქლორიდების საწყის წყაროს წარმოადგენს მაგნიტური ქანები, რომელთა შემადგენლობაში შედის ქლორშემცველი მინერალები (სოდალიტი, ქლორაპატიტი და სხვ.), მარილოვანი ნაწილობი, ძირითადად ჰალიტი. ქლორიდების მნიშვნელოვანი რაოდენობა წყალში ხვდება ოკეანესა და ატმოსფეროს შორის ნივთიერებათა ცვლით, ატმოსფერული ნალექების ზემოქმედებით ნიადაგზე, განსაკუთრებით მარილოვანის, აგრეთვე ვულკანური ამოფრქვევებით. მნიშვნელოვანი რაოდენობით ქლორიდებს შეიცავს სამრეწველო და სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარე წყლები.

სულფატური და კარბონატული იონებისაგან განსხვავებით ქლორიდები არ წარმოქმნიან ასოცირებულ იონთა ორთქლს. ყველა იონებისაგან განსხვავებით ქლორიდებს გააჩნიათ მაღალი მიგრაციის უნარი, რაც აიხსნება მათი კარგი ხსნადობით. ნაკლებად სორბირდებიან ტიტივიარებზე და ნაკლებად მოიხმარებიან წყლის ორგანიზმებით.

მდინარეებისა და ტბის მტკნარ წყლებში ქლორიდების შემცველობა მერყეობს მილიგრამის წილიდან ათეულ და ასეულ, ზოგჯერ ათას მილიგრამამდე ლიტრში. ზღვის და მიწისქვეშა წყლებში ქლორიდების შემცველობა მნიშვნელოვნად მაღალია (ზენაჯერი ხსნარები). ქლორიდები წარმოადგენენ „გაბატონებულ“ ანიონს მაღალ მინერალიზებულ წყლებში, ქლორშემცველი მდინარეები ბევრი არ არის და შეადგენს მთელი წყლის აუზის ფართობის დაახლოებით 7%-ს. ქლორიდების კონცენტრაცია მიწისზედა წყლებში მნიშვნელოვნად იცვლება სეზონის მიხედვით, რომელიც კორელირდება წყლის საერთო მინერალიზაციის ცვლილებით. ქლორიდების მაღალი კონცენტრაცია ცვლის და დაბლა წევს წყლის ზარისხს, კერძოდ, გემოს, რის შედეგადაც ასეთი წყალი არ გამოიყენება სასმელად და შეზღუდულია ასევე მათი გამოყენება ტექნიკურ და სამეურნეო მიზნებისათვის, სასოფლო-სამეურნეო ნაკეთების მოსარწყავად.

ქლორიდების დღელამური კონცენტრაცია და მათი ცვალებადობა წარმოადგენს წყალსაცავების გაჭუჭყიანების კრიტერიუმს სამეურნეო საყოფაცხოვრებო წყლებით. წყალსაცავებში ქლორიდების შემცველობა და მოქმედების გამოკვლევა აუცილებელია მთელი რიგი ისეთი პრობლემების გადასაწყვეტად, როგორცაა ბუნებაში მათი წრებრუნვა და მარილდაგროვების პროცესები. მიწისქვეშა წყლებში ქლორიდების შემცველობის მონაცემები ხშირად გამოიყენება ნავთობის, გაზის, ტყვიის, რკინის, სპილენძის, თუთიის, კადმიუმისა და ურანის საბადოების ჰიდროქიმიური ძიებისას.

მიწისზედა წყლებში ქლორიდების განსაზღვრა ხდება მოცულობითი, კოლორიმეტრული ტურბიდომეტრული, რადიომეტრული და პოტენციომეტრული მეთოდებით, მათ შორის გამოიყენება იონ-სელექტური მემბრანული ელექტროდები. ჰიდროქიმიურ პრაქტიკაში ფართო გამოყენება პოვა მოცულობითმა, კერძოდ, არგენტომეტრულმა და მერკურიმეტრულმა მეთოდებმა. ეს მეთოდები მარტივია და გამოიყენება, როგორც სტაციონალურ, ასევე საველე პირობებში.

დაბალ მინერალიზებულ წყლებსა და ატმოსფერულ ნალექებში ქლორიდების დაბალი კონცენტრაციის განსაზღვრისათვის გამოიყენება კოლორიმეტრული მეთოდები. არგენტომეტრული მეთოდი კალიუმის ბიქრომატით გამოიყენება ისეთი წყლების ანალიზისათვის, რომლებშიც ქლორიდ იონების რაოდენობა აღემატება 40 მგCl<sup>-</sup>/ლ. მერკურიმეტრული მეთოდი დიფენილკარბაზონ – ბრომფენოლ ლურჯით გამოიყენება – 2-40 მგCl<sup>-</sup>/ლ-მდე; 0,3-2 მგCl<sup>-</sup>/ლ-მდე კი გამოიყენება კოლიტომეტრული მეთოდი.

საანალიზო წყლის სინჯის მოცულობა ქლორიდების შემცველობის მიხედვით

ქლორიდების შემცველობა, მგ/ლ	საანალიზო წყლის მოცულობა, მლ
< 100	100
100-250	100
250-800	50
> 800	<50

ქლორიდები წარმოადგენენ მდგრად კომპონენტებს, რომელთა განსაზღვრა ხდება არამდგრადი კომპონენტების ანალიზის შემდეგ. ქლორიდების შემცველობა პრაქტიკულად არ იცვლება წყლის ქიმიური შემცველობის ტრანსფორმაციისას ფიზიკო-ქიმიური და ბიოლოგიური პროცესების მიმდინარეობის შედეგად.

სინჯებს არ აკონსერვებენ, ინახავენ ოთახის ტემპერატურაზე. მღვრიე სინჯებს ანალიზის წინ ფილტრავენ მემბრანული ფილტრით. (0,45 მკ).

ქლორი და მისი ნაერთები საერთოდ ტოქსიკურია, იწვევენ საერთო ტოქსიკურ და გამაღიზიანებელ მოქმედებას, სასუნთქი გზების, თვალის, ლორწოვანი გარსის და ფილტვების ძლიერ გაღიზიანებას, კოლაფსეს და სიკვდილს.

ზ.დ.კ. - ჰაერში ერთ. მაქს. - 0,1 მგ/მ<sup>3</sup>

ზ.დ.კ. - ჰაერში დღე-ღამური - 0,03 მგ/მ<sup>3</sup>

ზღვ. Cl<sup>-</sup> - 300 მგ/ლ.

თვისებითი ანალიზი

ანალიზის ჩატარების წინ ქლორის თვისობრივი განსაზღვრა ხდება შემდეგი მეთოდებით:

1) 5 მლ საანალიზო ხსნარს უმატებენ 3. წვეთ 10%-იან  $AgNO_3$  -ის ხსნარს და ქლორიდების შემცველობას საზღვრავენ შემღვრევის ინტენსიურობის მიხედვით.

ოპალესცენცია, ნაკლებად მღვრიე 1-10 მგ/Cl<sup>-</sup>/ლ

ძლიერი შემღვრევისას 10-60 მგ/Cl<sup>-</sup>/ლ.

ქულისებრი, რომელიც უცებ არ ილექება. 50-100 მგ/Cl<sup>-</sup>/ლ.

თეთრი მოცულობითი ნალექი 100 მგ/Cl<sup>-</sup>/ლ.

2) 5 მლ საანალიზო წყალს უმატებენ ინდიკატორ  $K_2CrO_4$  -ს და ტიტრავენ 0,05N  $AgNO_3$  -ის ხსნარით შეღებილი ნალექის  $Ag_2CrO_4$  -ის წარმოქმნამდე. გატიტრებაზე დაზარალებული  $AgNO_3$ -ის ხსნარის რაოდენობით საზღვრავენ ქლორიდების შემცველობას საანალიზო ხსნარში.

## არგენტომეტრული განსაზღვრა

### მეთოდის არსი

ამ მეთოდით შეიძლება ჩატარდეს როგორც შეფერილი, ასევე უფერო წყლების ანალიზი, რომლებშიც ქლორიდების შემცველობა აღემატება 10 მგCl<sup>-</sup>/ლ, უფრო ნაკლები კონცენტრაციისას სინჯს წინასწარ აორთქლებენ.

განსაზღვრის მეთოდი დაფუძნებულია ვერცხლის ქლორიდის მცირე ხსნალობაზე, რომელიც რაოდენობრივად გამოილეკება ხსნარიდან (pH=7-10) ვერცხლის ნიტრატის მიმატებისას წყალში:  $Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl \downarrow$  თეთრი ფერის.

AgCl-ის სრული დალეკვის შემდეგ ვერცხლის იონის ჭარბი რაოდენობა შედის რეაქციაში ქრომის მჟავას იონებთან, რომელსაც უმატებენ ინდიკატორის სახით. ამის შემდეგ წარმოიქმნება ლიზინისებრ-მოყვითალო შეფერილობიდან ნარინჯისებრ-მოყვითალო შედერილობა.

100-200 მგCl<sup>-</sup>/ლ კონცენტრაციისას შეფარდებითი სტანდარტული გადახრა შეადგენს 0,6%-ს ( $h=21$ ). ცალკეული სინჯის განსაზღვრის ხანგრძლივობა შეადგენს 15 წთ-ს. ქლორიდების კონცენტრაციის მიხედვით სინჯს ტიტრავენ 0,1N, 0,05N ან 0,02N ვერცხლის ნიტრატის ხსნარით.

### ხელისშემშლელი პირობები

ამ მეთოდით ქლორიდების გარდა განისაზღვრება, აგრეთვე, წყალში მყოფი სხვა ქალოგენებიც ( $Br^-$ ,  $I^-$ ), ( $CN^-$ ), რომელთა შემცველობა ბევრ ბუნებრივ წყლებში არ არის მაღალი.

განსაზღვრის შედეგებზე გაუღენას ახდენს შეფერილი ნივთიერებები, მჟავები (რომელთა pH<6,5), გოგირდწყალბადისა და ჰიდროსულფიდების არსებობა.

შეფერილი ნივთიერებების ზეგავლენის ასაცილებლად წყალს ატარებენ გააქტიურებულ ნახშირიან (BAY) სვეტში ( $d=1,5-2$  სმ,  $h=25-30$  სმ) 2 მლ/წთ სიჩქარით. პირველად 150 მლ წყალს ღვრიან. გაუფერულების შემდეგ სინჯს ფილტრავენ „ლურჯ ლენტიანი“ ფილტრის ქაღალდით.

მჟავე რეაქციისას წყლის სინჯს ანიტრალევენ ფენოლფტალეინის მიხედვით. მღერი სინჯებს ატარებენ ალუმინის ჰიდროქსიდის სუსპენზიაში. 100 მლ სინჯს უმატებენ 3 მლ ალუმინის ჰიდროქსიდის სუსპენზიას და ნარევს ანჯღრევენ. შემდეგ ფილტრავენ „თეთრ ლენტიანი“ ფილტრის ქაღალდით. ნალექს რეცხავენ გამობდილი წყლით. ქლორიდებს საზღვრავენ ფილტრატის მთელ მოცულობაში.

ციანიდების მოსაცილებლად სინჯს ამუშავენ წყალბადის ზეჟანგით ტუტე არეში.

სულფიდებისა და თიოსულფატების მოსაცილებლად სინჯს ამუშავენ წყალბადის ზეჟანგით ტუტე არეში, ხოლო სულფიტების მოსაცილებლად კი ნეიტრალურ არეში ასევე წყალბადის ზეჟანგით.

ქლორიდების განსაზღვრის მსვლელობას ხელს უშლის ფოსფატები, როდესაც მათი კონცენტრაცია აღემატება 25 მგ/ლ. ამ დროს ისინი ილექებიან ვერცხლის იონებით ვერცხლის ფოსფატების სახით.

10 მგ/ლ-ზე მეტი კონცენტრაციისას რკინა ხელს უშლის ზუსტი ექვივალენტური წერტილის დადგენაში,

გოგირდწყალბადის და ჰიდროსულფიდის თანაობისას წყალს შეამჟავებენ 0,1 N  $HNO_3$ -ის ხსნარით, ამოწმებენ ლაკმუსის ქაღალდით და ატარებენ ჰაერს რამდენიმე წუთის განმავლობაში.

#### ანალიზის მსვლელობა:

განსასაზღვრავად იღებენ 10 მლ სინჯს (ნაკლები რაოდენობისას მოცულობა მიყავთ 100 მლ-მდე ბიდისტილატით), ტუტე ან მჟავა სინჯებს ანეიტრალებენ  $NaOH$ -ით ან  $H_2SO_4$ -ით ფენოფტალეინის მიხედვით. განეიტრალების შემდეგ ხსნარი უნდა იყოს უფერო, რისთვისაც უმატებენ უმცირესი რაოდენობით  $H_2SO_4$ -ს სინჯს, რომლის pH-7-9, წინასწარ არ ამზადებენ. უმატებენ 1 მლ კალიუმის ქრომატის ხსნარს. (თუ სინჯის მოცულობა 100 მლ-ზე ნაკლებია კალიუმის ქრომატის ხსნარს ვამცირებთ შესაბამისად) და ვტიტრავთ უწყვეტი მორევისას ვერცხლის ნიტრატით.

ქლორიდების მცირე რაოდენობისას ტიტრვენ ნელა,  $AgNO_3$ -ის ხსნარის თითო წვეთის დამატებით. ლიმონისებრ-მოყვითალო შეფერილობის ნარინჯისფერ-ყვითელში გადასვლამდე.

პარალელურად ვატარებთ საკონტროლო ანალიზს 100 მლ დისტილირებული წყლის გატიტრებით ანალოგიურად.

#### ანგარიში:

ქლორიდების შემცველობა განსაზღვრება ფორმულით:

$$C_x = \frac{(n_1 - n_2)K \cdot N \cdot 1000}{V}, \text{ მგ-ექვ/ლ.}$$

$$C_x = \frac{(n_1 - n_2)K \cdot N \cdot 35,45 \cdot 1000}{V} = \frac{(n_1 - n_2)K \cdot N \cdot 35450}{V} \text{ მგ/ლ.}$$

სადაც  $N$  -  $AgNO_3$ -ის ხსნარის ნორმალობაა.

$n_1$  - საანალიზო ხსნარის გატიტრებაზე დახარჯული  $AgNO_3$ -ის ხსნარის მოცულობა, მილილიტრებში;

$n_2$  - საკონტროლო სინჯის გატიტრებაზე დახარჯული  $AgNO_3$ -ის მოცულობა, მლ.



$V$  – საანალიზო წყლის სინჯის მოცულობა, მლ;

$35,45 - Cl^-$  – ის ექვივალენტი;

$K- AgNO_3$  – ხსნარის ნორმალობის შესწორების კოეფიციენტი.

რეაქტივები:

1. ვერცხლის ნიტრატის ხსნარი, ქიმიურად სუფთა ანალიზისათვის, 0,1 გ (0,05 გ ან 0,02 გ) 16,9874 გრ (8,4937 გრ ან 3,3975 გრ)  $AgNO_3$ -ს ხსნიან ბიდისტილატში და ხსნარის მოცულობა მიჰყავთ მშობ კოლბაში 1 ლ-მდე. თუ მიიღება მღვრიე ხსნარი, რამდენიმე დღეს აყოვნებენ. ხსნარს ინახავენ მუქ ჭურჭელში, ვერცხლის ნიტრატისათვის გამოყენებულ ბიუტერებს ხშირად ასუფთავებენ მასზე გამოყოფილი მეტალური ვერცხლისაგან (შავი დანაფარი).  $AgNO_3$ -ს წინასწარ გამოაშრობენ  $105^{\circ}C$ -ზე.
2. ქლორმთავა კალიუმის ხსნარი  $K_2CrO_4$ , ქიმიურად სუფთა. 50%-იანი ხსნარი. 50 გრ  $K_2CrO_4$  ხსნიან მცირე რაოდენობის ბიდისტილატში. ქლორიდების მოსაცილებლად უმატებენ ვერცხლის ნიტრატის ხსნარს მოწითალო-მოყავისფრო ნალექის წარმოქმნამდე. 2 საათის დაყოვნების შემდეგ ფილტრავენ და მშობ კოლბაში ხსნარის მოცულობა მიყავთ 1 ლ-მდე ბიდისტილატით.
3. ნატრიუმის ქლორიდის სტანდარტული ხსნარი, ქიმიურად სუფთა ანალიზისათვის, 0,1 გ (0,05 გ, ან 0,02 გ)  $NaCl$ -ს წინასწარ  $105^{\circ}C$ -ზე გამოაშრობენ. 5,8443 გრ (2,9221 გრ ან 1,1684 გრ)  $NaCl$ -ს ხსნიან ბიდისტილატში და მშობ კოლბაში ხსნარის მოცულობა მიყავთ 1 ლ-მდე  $20^{\circ}C$ -ზე. შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას  $KCl$ -იც (რომლის წონაკია 3,7277 გ).
4. გოგირდმთავა, 1 გ ხსნარი. 28 მლ კონც.  $H_2SO_4$ - (ქ.ს.ა) ანზავენ გამოხდილი წყლით 1 ლიტრამდე.
5. ნატრიუმის ტუტე, 1 გ ხსნარი. 40 გრ  $NaOH$  (ქ.ს.ა) ხსნიან ბიდისტილატში 1 ლიტრამდე.
6. ფენოფტალეინი, 0,5%-იანი ხსნარი, 0,5 გრ ფენოფტალეინს ხსნიან 50 მლ 96%-იან ეთილის სპირტში და ანზავენ 50 მლ გამოხდილი წყლით. ხსნარს წვეთობით უმატებენ 0,01 გ  $NaOH$ -ის ხსნარს შესამჩნევი ვარდისფერის მიღებამდე.

$AgNO_3$ -ის სტანდარტული ხსნარის ნორმალობის განსაზღვრა

$AgNO_3$ -ის ხსნარის ნორმალობის დასადგენად სარგებლობენ  $NaCl$ -ის ზუსტი ხსნარით.

150-200 მლ მოცულობის კონუსურ კოლბაში იღებენ პიპეტით 15 მლ  $NaCl$ -ის ზუსტ ხსნარს. უმატებენ გამოხდილ წყალს 50 მლ მოცულობამდე. შემდეგ უმატებენ 0,5 მლ

კალიუმის ქრომატის ხსნარს და ტიტრავენ  $AgNO_3$ -ის ხსნარით მუქი ყავისფერი ნალექის წარმოქმნამდე. განსაზღვრას იმეორებენ 2-3-ჯერ. რეზულტატად იღებენ საშუალო სიდიდეს.  $AgNO_3$ -ის ნორმალობას ითვლიან ფორმულით:

$$N = N_1 \frac{n_1}{n_2},$$

ადაც  $N - NaCl$  -ის ხსნარის ნორმალობაა;

$n_1 - NaCl$  -ის ხსნარის მოცულობაა, მლ.

$n_2 - AgNO_3$  -ის ხსნარის მოცულობაა, მლ (რომელიც აიღება მისგან საკონტროლო განსაზღვრაზე დახარჯული  $AgNO_3$ -ის რაოდენობის (მლ) გამოკლების შემდეგ).

ჭურჭელი:

1 - 200 მლ-იანი კონუსური კოლბები - 10 ცალი;

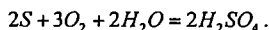
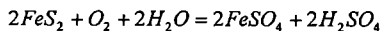
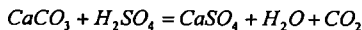
2 - 25 მლ-იანი ბიურეტი - 1 ც;

3 - 15 მლ-იანი პიპეტი - 1 ც.

4 - 1-2 მლ-იანი პიპეტი - 1 ც.

## 1.2. სულფატების განსაზღვრა

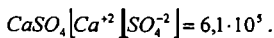
სულფატები წარმოადგენენ ზედაპირულ წყლების შემადგენელ ერთ-ერთ მთავარ ანიონს. იგი წარმოიქმნება გოგირდშემცველი მინერალების, ძირითადად თაბაშირის, ხსნადობითა და ქიმიური გამორეცხვისას, ასევე სულფატებისა და გოგირდის დაჟანგვით



სულფატების მნიშვნელოვანი რაოდენობა წყალსაცავებში გვხვდება ორგანიზმების კვლამისას, ხმელეთისა და წყლის მცენარეული და ცხოველური წარმოშობის ნივთიერებების დაჟანგვით და მიწისქვეშა წყლებით. წყალსაცავები ჭუჭყიანდება სხვადასხვა მრეწველობის, მინის, ქალაღის, საპნის, საფეიქრო, აგრეთვე საყოფაცხოვრებო სულფატშემცველი ჩამდინარე წყლებით. აგრეთვე სასოფლო-სამეურნეო სავარგულის წყლებით. ზენაჯერი ხსნარებიდან სულფატები გამოიყოფიან კრისტალების სახით ძირითადად მირაბილიტის ანუ გლაუბერის ჰარილის სახით  $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ .

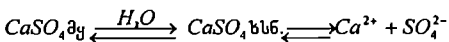
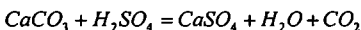
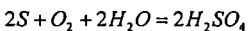
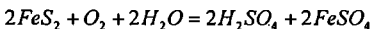
$SO_4^{2-}$  - იონური ფორმა დამანასიათებელია მხოლოდ დაბალმინერალიზებული წყლებისათვის. მინერალიზაციის გაზრდისას სულფატ-იონები ასოცირდებიან ნეიტრალური იონური წყვილის

$CaSO_4$ ,  $MgSO_4$ -ის სახით, რომლებიც წარმოიქმნებიან საწინააღმდეგოდ დამუხტული იონებს შორის ელექტროსტატიკური ურთიერთქმედებით. სულფატ-იონების ხსნადობა ხსნარში შეზღუდულია მათი მცირე ხსნადობის გამო.



ბუნებრივ პირობებში სულფატები აქტიურად მონაწილეობენ გოგირდის რთულ წრებრუნვაში. ჟანგბადის უკმარისობისას (ანაერობული პირობები) სულფატ-რედუცირებადი ბაქტერიების მოქმედებით უკანასკნელი აღდგება გოგირდწყალბადადამდე.

შესაბამისი პირობებისას გამოყოფილი სულფიდები და გოგირდწყალბადი (კაერის ჟანგბადის, ან ფოტოსინთეტიკური მწვანე და მუქი წითელი ბაქტერიების საშუალებით გოგირდწყალბადის მეტაბოლური დაჟანგვით) შეიძლება დაიჟანგოს გოგირდამდე ან სულფატამდე



მცენარეები და სხვა ავტოტროფული ორგანიზმები წყალში ხსნად სულფატებს გამოწვილავენ ცილოვანი ნივთიერების წარმოსაქმნელად. ცოცხალი უჯრედების კვდომისას ჰეტეროტროფული ბაქტერიები გოგირდს გამოყოფენ პროტეინიდან გოგირდწყალბადის სახით და აერობულ პირობებში ჟანგავენ სულფატამდე.

მდინარეები და მტკნარ ტბებში სულფატების შემცველობა შეადგენს 5-10-დან 60-მდე მგ  $SO_4^{2-}$ /ლ, წვიმის წყალში 1-10 მგ  $SO_4^{2-}$ /ლ, მიწისქვეშა წყლებში სულფატების რაოდენობა მნიშვნელოვანია. სულფატების კონცენტრაცია მიწისზედა წყლებში იცვლება სეზონის ცვლილების მიხედვით და კორელირდება წყლის საერთო მინერალიზაციის ცვლილებით. ამ რეჟიმის განმსაზღვრელ ძირითად ფაქტორს წარმოადგენს მიწისზედა და მიწისქვეშა წყლებს შორის თანაფარდობა, ჟანგვა-აღდგენითი პროცესების ინტენსივობა, წყალსაცავში ბიოლოგიური მდგომარეობა და ანტროპოგენური ფაქტორები.

.. სულფატების კონცენტრაციის გაზრდა ცვლის წყლის ორგანოლექტიკურ თვისებებს და ახდენს ადამიანის ორგანიზმზე ფიზიოლოგიურ ზემოქმედებას.

გოგირდი და მისი ნაერთები ახდენენ გამაღიზიანებელ მოქმედებას იწვევენ ბრონქიტს, ფილტვების ენფიზემას, კონიუნქტივიტს, თვალის რქოვანის დაზიანებას, წყლულებს კანზე, ღერმატიტს, გულის არემი ტკივილს, დამწვრობას.

ზ.დ.კ. მაქს. ერთჯერადი – 0,3 მგ/მ<sup>3</sup>.

ზ.დ.კ. საშ დღე-ღამური – 0,1 მგ/მ<sup>3</sup>.

ზ.დ.კ.  $SO_4^{2-}$  – 100 მგ/ლ.

სულფატების განსაზღვრა ხდება წონითი, კომპლექსონომეტრული, ფოტომეტრული, ტურბოდიმეტრული, პოლაროგრაფიულ მეთოდებით, იონსელექტიური ელექტროდების გამოყენებით და ა.შ.

### თვისებითი ანალიზი

სულფატების განსაზღვრა თვისებითი ანალიზით:

ვიღებთ 5 მლ საკვლევი წყლის სინჯს; ეუმატებთ 4-5 წვეთ  $HCl$ -ს (1:1) და 0,5 მლ 10%-იან  $BaCl_2$ -ის ხსნარს, გამოყოფილი სიმღვრივის და ნალექის მიხედვით ვმსჯელობთ სულფატების შემცველობაზე.

ცხრილი 2

### სულფატების შემცველობის დამოკიდებულება სიმღვრივეზე

სიმღვრივე და ნალექი	სიმღვრივის არარსებობა	მცირე შემღვრევა, რომელიც წარმოიქმნება წუთის შემდეგ	მცირე შემღვრევა, რომელიც წარმოიქმნება სწრაფად	ძლიერი შემღვრევა, რომელიც სწრაფად გამოილექება
$SO_4^{2-}$ შემცველობა, მგ/ლ	5	5-10	10-100	100-2500

### ტურბოდიმეტრული განსაზღვრა

#### მეთოდის არსი

ამ მეთოდით განისაზღვრება უფერო და მცირედ შეფერილი სულფატ შემცველი წყალი, სადაც სულფატების კონცენტრაცია 1-2 მგ  $SO_4^{2-}$ /ლ-ზე მეტია. მეთოდი დაფუძნებულია ბარიუმის მარილის თანაობისას სულფატ-იონის შემცველი ხსნარის შემღვრევის ინტენსივობის განსაზღვრაზე. ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივე განისაზღვრება როდესაც  $\lambda=315$  ნმ ( $\nu=31430$  სმ<sup>-1</sup>). ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივესა და სულფატების კონცენტრაციას შორის სწორხაზობრივი დამოკიდებულება შენარჩუნებულია ზღვრებში 0-15 მგ  $SO_4^{2-}$ /ლ.  $BaSO_4$ -ის სუსპენზიის სტაბილიზაციისათვის სარეაქციო ნარევეს უმატებენ გლიკოლს. განსაზღვრავე მინიმალური კონცენტრაციაა 1 მგ  $SO_4^{2-}$ /ლ.

შეფარდებითი სტანდარტული გადახრა 5-10 მგ  $SO_4^{2-}$ /ლ კონცენტრაციისას შეადგენს 8%-ს ( $n=18$ ).

ცალკეული სინჯის განსაზღვრის ხანგრძლივობაა 15 წთ.

ხელისშემშლელი პირობები:

განსაზღვრას ხელს უშლის შეწონილი, შეღებილი ნივთიერებები, მაოპალენსირებადი ნივთიერებები, ასევე, ბიკარბონატები, კარბონატები, ფოსფატები და სილიციუმჟავა ( $>200$  მგ  $Si/ლ$ ). შეწონილი და კოლოიდური ნივთიერებების მოცილება ხდება სინჯის წინასწარი გაფილტვრით. კუმუსური ნივთიერებების მოსაცილებლად წყალს ატარებენ გააქტიურებულ ნახშირიან სვეტში („БAY“) ( $h=25-30$  სმ,  $d=1,5-2$  სმ) 2 მლ/წთ სიჩქარით.

სილიციუმჟავასა და რკინის მაღალი კონცენტრაციისას წყალს ამოაშრობენ, შეჟავებენ 5 მლ  $HCl$ -ის ხსნარით (1:1). მშრალ ნაშთს აცხელებენ 1 სთ-ის განმავლობაში  $105^{\circ}C$ -ზე, ნამავენ 5 მლ  $HCl$ -ით (1:1), აცხელებენ და ანზავენ 50 მლ დისტულირებული წყლით, ცხელ ხსნარს ფილტრავენ და რეცხავენ განზავებული  $HCl$ -ის ხსნარი (1:50). ფილტრატს უმატებენ 1 მლ  $HNO_3$ -ის ხსნარს (1:1). აღულებენ 5-10 წთ-ის განმავლობაში და მოცულობა მიჰყავთ 100 მლ-მდე. შემდეგ უმატებენ ამიაკის ხსნარს (1:1) ტუტე რეაქტივამდე. 30 წუთის განმავლობაში აცხელებენ წყლის აბაზანაზე, გამოყოფილ ჰიდროქსიდს ფილტრავენ, რეცხავენ ცხელი ბიდისტილატით, ფილტრატის მოცულობა მიჰყავთ 250 მლ-მდე.

სულფიტების თანაობისას სინჯს წინასწარ ჟანგავენ 0,1 ნ იოდის ხსნარის დამატებით.

ჰიდროკარბონატების და კარბონატების მოსაცილებლად ხსნარს ანეიტრალბენ მარილმჟავით.

ანალიზის მსვლელობა:

5 მლ საკვლევი წყლის სინჯს ჰიპეტის საშუალებით ასხავენ 25 მლ-იან კონუსურ კოლაში, უმატებენ 1-2 წვეთ  $HCl$ -ის ხსნარს (1:1), 5 მლ შერეულ რეაქტივს ( $BaCl_2$ -ის, გლიკოლისა და ეთილის სპირტის ნარევეს). ინტენსიურად ურევენ. 40 წთ-ის შემდეგ ზომავენ ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივეს სპექტროფოტომეტრზე ( $\lambda=316$  ნმ,  $\nu=31439$  სმ $^{-1}$ ) ან ფოტოელექტროკოლორიმეტრზე (იისფერი შუქფილტრი) 2 სმ სისქის კუვეტებში (საკონტროლოდ იღებენ დისტილირებულ წყალს). პარალელურად საზღვრავენ საკვლევი წყლის სინჯის ოპტიკურ სიმკვრივეს რეაქტივების დამატების გარეშე. მხოლოდ უმატებენ იმავე მოცულობის გამოხდილ წყალს. მღვრიე და მცირედ შეფერილი წყლების ანალიზისას მიღებულ ოპტიკურ სიმკვრივეს აკლებენ სინჯის ოპტიკურ სიმკვრივეს. სულფატების კონცენტრაციას საზღვრავენ საკალიბრო მრუდით (მგ  $SO_4^{2-}$ /ლ).

## საკალიბრო მრუდის აგება

100 მლ მზომ კოლბაში იღებენ 0; 1; 2; 3; 5; 10; 15; 20 მლ კალიუმის სულფატის სტანდარტულ ხსნარს და მოცულობა მიყავთ ჭედმდე ბიდისტილატით. ასეთი ხსნარების კონცენტრაცია ტოლია 0; 1; 2; 3; 5; 10; 15; 20 მლ.  $SO_4^{2-}$  /ლ, განსაზღვრავს აწარმოებენ ზემოთ აღნიშნული მეთოდის მიხედვით. საკალიბრო მრუდის აგებისას აბსცისთა ღერძზე გადაზომილია სულფატების კონცენტრაცია მგ  $SO_4^{2-}$  /ლ, ხოლო ორდინატაზე კი ოპტიკური სიმკვრივე.

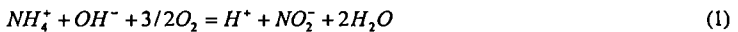
### რეაქტივები:

1. მარილმჟავას ხსნარი  $HCl$  კიმიურად სუფთა (1:1)  
კონცენტრირებულ მარილმჟავას ( $d=1,19$ ) ასხავენ ბიდისტილატს თანაფარდობით (1:1).
2. შერეული რეაქტივი.  
100 მლ 5%-იან  $BaCl_2$ -ის წყალხსნარს ურევენ 300 მლ გლიკოლს და 300 მლ ეთილის სპირტს, ხსნარის pH-ი მიყავთ დაახლოებით 3-მდე მარილმჟავით (1:1) და ხსნარს აყოვნებენ 1-2 დღელამის განმავლობაში. რეაქტივი ვარგისია 5-6 თვე.
3. ბარიუმქლორიდის ხსნარი –  $BaCl_2$ , კიმიურად სუფთა 5%-იანი, 5 გრ  $BaCl_2$ -ს წინასწარ აშრობენ  $120^{\circ}C$ -ზე მუდმივ წონამდე. შემდეგ ხსნიან ბიდისტილატში და მზომ კოლბაში ხსნარის მოცულობა მიყავთ 100 მლ-მდე.
4. გლიკოლი,  $CH_2OH-CH_2OH$ , კიმიურად სუფთა.
5. ეთილის სპირტი,  $C_2H_5OH$ , პიდროლიზებული, მარკა „სპირტი რექტიფიცირებული სახ. სტანდარტი 18300-72“.
6. კალიუმის სულფატის სტანდარტული ხსნარი,  $K_2SO_4$ , კიმიურად სუფთა.
  - ა) ძირითადი ხსნარი:  
1 მგ  $SO_4^{2-}$  /ლ  
0.1810 გრ.  $K_2SO_4$  წინასწარ აშრობენ  $110^{\circ}C$ -ზე მუდმივ წონამდე, ხსნიან ბიდისტილატში და მზომ კოლბაში ხსნარის მოცულობა მიყავთ 100 მლ-მდე.
  - ბ) საშუაო ხსნარში:  
0,1 მგ  $SO_4^{2-}$  /მლ.,  
10 მლ ძირითად ხსნარს ანზავებენ ბიდისტილატით 100 მლ-მდე.  
აპარატურა:  
სპექტროფოტომეტრი ( $\lambda=315$  მმ) ან ფოტოკოლორიმეტრი (იისფერი შუქფილტრი).  
ჭურჭელი:

მზომი კოლბა	100 მლ	- 8 ც.
კონუსური კოლბა	25 მლ	- 6 ც.
პიპეტები	5 მლ	- 2 ც.
	1 მლ	- 1 ც
ცილინდრები	500 მლ	- 1 ც
სინჯარები საცობით	500 მლ	- 1 ც
	100 მლ	- 2 ც.

### 1.3. ნიტრიტებისა და ნიტრატების განსაზღვრა

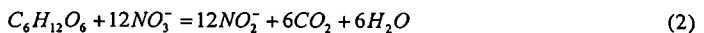
ნიტრიტები წარმოადგენენ ამიაკის ბიოქიმიური დაჟანგვის ან ნიტრატების აღდგენის შუალედურ პროდუქტს. მათი არსებობა მიუთითებს წყლების ფეკალურ გაჭუჭყიანებაზე. ზედაპირულ წყლებში ნიტრიტები სწრაფად გარდაიქმნებიან ნიტრატებად. სუფთა ზედაპირულ წყლებში ნიტრიტების იონების თანაობა დაკავშირებულია ორგანული ნივთიერებების მინერალიზაციაზე და ნიტრიფიკაციაზე, ამონიუმის იონები განსაზღვრული სახის ბაქტერიების (Nitrosomonas) ზემოქმედებით იჟანგებიან ნიტრიტ იონებად



$$\Delta F^\circ = -59400 \text{ კკალ.}$$

ჟანგბადის დეფიციტისას დაჟანგვის ეს პროცესი ამ სტადიით არ მთავრდება, არამედ სხვა სახის ბაქტერიების (Nitrobacter) ზემოქმედებით ნიტრიტები იჟანგება ნიტრატებად ( $NO_2^- + 1/2O_2 \rightarrow NO_3^-$ ). ნიტრატ იონების კონცენტრაცია იზრდება ზაფხულში, როდესაც მასიურად მიმდინარეობს ფიტოპლანქტონის კვლევა და ნიტრიფიკატორების გააქტიურება შესაძლებელია წყალსაცავების ზედაპირულ ფენებში ულტრაიისფერი სხივების ინტენსიური ზემოქმედებით ამონიუმის დაჟანგვა მიმდინარეობდეს ქიმიური გზით. არ არის გამორიცხული, რომ ეს რეაქციები შესაძლებელია განხორციელდეს გარდა ორგანიზმებისა ფერმენტების კატალიზური ზემოქმედებითაც. ამიტომ ნიტრიტ-იონები მნიშვნელოვანი როლენობით გეხვებიან ჟანგბადით ღარიბ ზონებში.

წყალსაცავებში ნიტრიტ იონები წარმოიქმნება სხვა პროცესების შედეგადაც- დენიტრიფიკაციით:



$$\Delta F^\circ = -460000 \text{ კალ.}$$

ნიტრატების აღდგენისათვის საჭიროა დიდი როლენობით ბაქტერიები, ამიტომ ეს პროცესი წარმოადგენს აზოტის ფართო გეოქიმიური ციკლის ნაწილს. ზედაპირულ წყლებში

ნიტრიტული აზოტი ძირითადად გვხვდება ნიტრიტონების სახით. მკავე წყლებში გვხვდება მცირე რაოდენობით  $HNO_2$  ნიტრიტებს გააჩნიათ კომპლექსწარმოქმნის დაბალი ხარისხი. ნიტრიტები წარმოადგენენ ბუნებრივი წყლების არამდგრად კომპონენტს. ამიტომ ზედაპირულ წყლებში მათი რაოდენობა მნიშვნელოვნად შეადგენს მილიგრამის ასეულ და ათასეულ წილს 1 ლიტრში. მიწისქვეშა წყლებში  $NO_2$ -ის შემცველობა მნიშვნელოვნად მაღალია. ნიტრიტების დიდი რაოდენობა (10-12 მგ  $N/m^3$ -მდე) შეიმჩნევა ზაფხულობით, რაც აიხსნება ან ნიტრატების აღდგენით, ან ფიტოპლანქტონის აქტიურობით, რადგან დადგენილია დიატომური და მწვანე წყალმცენარეების მიერ ნიტრატების ნიტრიტებად აღდგენის პროცესი.

ზღვის წყალში ნიტრიტების შემცველობა არ აღემატება 10 მგ  $N/m^3$ -მდე, იშვიათად იგი აღწევს 20-30 მგ  $N/m^3$ -მდე. ხოლო ნიტრატ იონების კონცენტრაცია აღწევს 0,4-0,5 მგ  $N/ლ$ , ზედაპირულ წყლებში -  $n \cdot 10^{-3} - n \cdot 10^{-2}$  მგ  $N/ლ$  ბევრ მდინარეში და წყალსაცავში კი აღწევს  $n \cdot 10^{-1}$  მგ  $N/ლ$ .

ნიტრიტების კონცენტრაცია იცვლება სეზონურად, ვინაიდან გაზაფხულში წარმოიქმნება ახალი, არაცოცხალი ორგანული ნივთიერების მინერალიზაციის დასაწყისში, ხოლო ზამთრობით კი არ არის. ნიტრიტების მაქსიმუმი რაოდენობა არის ზაფხულის ბოლოს, როდესაც ინტენსიურად მიმდინარეობს ზაფხულის განმავლობაში წარმოქმნილი ორგანული ნივთიერების დაშლა, ხოლო შემდეგ ნიტრიტების მნიშვნელობა კი მცირდება. წყლის ღრმა ფენებში ნიტრიტების კონცენტრაცია მნიშვნელოვნად დაბალია. ნიტრიტების კონცენტრაციის მომატება მიუთითებს ორგანული ნივთიერებების ნარჩენების დაშლის ინტენსივობაზე, რომელიც მიმდინარეობს  $NO_2^-$  შედარებითი ნელი დაჟანგვით  $NO_3^-$  -ად, რაც მიუთითებს წყალსაცავის გაჭუჭყიანებაზე, ე.ი. წარმოადგენს ძირითად სანიტარულ მაჩვენებელს.

წყალსაცავებში შესაძლებელია ნიტრიტების მაღალი რაოდენობა აღმოჩნდეს იმ საწარმოთა ჩამდინარე წყლების ჩაშვების რაიონებში, რომლებიც ნიტრიტებს იყენებენ კოროზიის ინჰიბიტორებად.

ზედაპირული წყალსაცავების ნიტრატებით გამდიდრების მეორე მთავარ წყაროს წარმოადგენს ატმოსფერული ელექტრული განმუხტვისას აზოტის ოქსიდების წარმოქმნა, რომლებიც ატმოსფერულ წყლებით შთანთქმის შემდეგ ხვდება დედამიწის ზედაპირზე. ნიტრატების შემცველობა ატმოსფერულ ნალექებში აღწევს 0,9-1 მგ  $N/ლ$ .

ნიტრატების დიდი რაოდენობით წყალსაცავები ჭუჭყიანდება სამრეწველო, საყოფაცხოვრებო-სამეურნეო ჩამდინარე წყლებით, ასევე ბიოლოგიურად გაწმენდილი ჩამდინარე წყლებით, რომლებშიც მათი კონცენტრაცია აღწევს 50 მგ  $N/ლ$ .

ნიტრატონების კონცენტრაციის შემცირების ძირითად პროცესს წარმოადგენს მათი



მოხმარება ფიტოპლანქტონითა და დენიტრიფიცირებადი ბაქტერიებით, რომლებიც უანგვადის უკმარისობისას იყენებენ ნიტრატების ჟანგბადს ორგანული ნივთიერებების დასაჟანგავად (რეაქცია № 2).

### მიგრაციის ფორმები

ზედაპირულ წყლებში ნიტრიტული და ნიტრატული აზოტი იმყოფება ძირითადად, შესაბამისად, წყალში გახსნილ ნიტრიტ და ნიტრატ-იონების სახით. მეთვე წყლები შეიცავს მცირე რაოდენობით  $HNO_2$ . ნიტრიტ და ნიტრატ იონებს. ნიტრატებს ახასიათებს კომპლექსწარმოქმნის დაბალი უნარი.

წყალსაცავის ღრმა ფენებში ნიტრატების განაწილება ექვემდებარება მათი კონცენტრაციის კანონზომიერ შემცირებას ფიტოპლანქტონის დაგროვების ფენებში ფოტოსინთეზის ინტენსიფიკაციის პერიოდში. სიღრმესთან ერთად ნიტრატების კონცენტრაცია იზრდება ორგანიზმების ნარჩენების მინერალიზაციის შედეგად რეგენერაციის ხარჯზე. ძალიან ღრმა ფენებში ჟანგბადისა და pH ძლიერი შემცირებისას ნიტრატების კონცენტრაცია კვლავ კლებულობს.

ზედაპირულ წყლებში ნიტრატების კონცენტრაცია იცვლება აგრეთვე სეზონურად. ფოტოსინთეზის ინტენსიური მიმდინარეობისას ნიტრატებს წყალი სრულიად არ შეიცავს. შემოდგომით ნიტრატების შემცველობა იზრდება, ხოლო ზამთარში მათი მნიშვნელობა აღწევს მაქსიმუმს.

### სინჯის აღება, დამუშავება და შენახვა

ნიტრიტ-იონები არამდგრადი ნივთიერებებია; მათი განსაზღვრა ხდება სინჯის აღებისთანავე. სინჯს წინასწარ ფილტრავენ 0,45 მკ-იანი მემბრანული ფილტრი. თუ ანალიზი არ ტარდება სინჯის აღებისთანავე, მაშინ სინჯს აკონსერვებენ 2-4 მლ ქლოროფორმის მიმატებით 1 ლ წყალზე და ინახავენ 3-5°C ტემპერატურის პირობებში 1-3 დღე-ღამის განმავლობაში.

### ნიტრიტების განსაზღვრის სპექტროფოტომეტრული მეთოდი გრისის რეაქტივით

მეთოდი დაფუძნებულია პირველადი არომატული ამინების მიერ აზოტმჟავას თანაობისას ინტენსიურად შეფერილი დიაზონაერთების წარმოქმნაზე:

დიაზონაერთის ოპტიკურ სიმკვრივეს საზღვრავენ  $\lambda=536$  ნმ სიგრძის ტალღაზე ( $\nu=18600$  სმ<sup>-1</sup>).

ზელისშემშლელი პირობები: განსაზღვრას ზელს უშლიან ძლიერი დამჟანგველები და აღმდგენელები. სამვალენტიანი რკინის, ორვალენტიანი ვერცხლისწყალის, ვერცხლის, ბისმუტის, სამვალენტიანი, სტიბიუმის ტყვიის, სამვალენტიანი ოქროს, ქლორპალატინატისა და მეტაეანადატის მოქმედებას ძლიერ გაჭუჭყიანებულ წყლებში აცილებენ საანალიზო სინჯის განზავებით გამოხდილი წყლით, რომელიც არ შეიცავს ნიტრიტებს.

#### ანალიზის მსვლელობა

50 მლ საკვლევ წყალს (ნაკლები რაოდენობისას მოცულობა 100 მლ-მდე მიჰყავთ 50 მლ გამოხდილი წყლის დამატებით), ათავსებენ 100 მლ კონუსურ კოლბაში და უმატებენ 0,1 გრ მშრალ გრისის რეაქტივს, ან 2,5 მლ მის ხსნარს და ინტენსიურად ურევენ. 40 წთ-ს შემდეგ (წაშზომით) საზღვრავენ ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივეს სპექტროფოტომეტრზე ( $\lambda=537$  ნმ,  $\nu=18600$  სმ<sup>-1</sup>), ან ფოტოელექტროკოლორიმეტრზე (მწვანე შუქფილტრი) 1 სმ სისქის კიუვეტში; შესადარებლად იღებენ გამოხდილ წყალს, ნიტრიტების დაბალი კონცენტრაციისას (0,007-0,05 მგ N/ლ) იყენებენ 5 სმ სისქის კიუვეტს, რასაც აგრეთვე იყენებენ საკალიბრო მრუდის აგების დროსაც. ერთდროულად საზღვრავენ რეაქტივების დაუმატებლად საკვლევი სინჯის ოპტიკურ სიმკვრივეს. ნიტრიტების კონცენტრაცია მგ N/ლ-ში საზღვრავენ საკალიბრო მრუდით.

#### საკალიბრო მრუდის აგება

50 მლ მზომ კოლბაში იღებენ 0; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0 მლ საშუალო ხსნარს და მოცულობა მიჰყავთ ჭდამდე გამოხდილი წყლით. ამ ხსნარების კონცენტრაცია შესაბამისად ტოლია: 0; 0,01; 0,02; 0,04; 0,08; 0,10; 0,15; 0,20; 0,30 მგ N/ლ. ხსნარების ოპტიკურ სიმკვრივეს ისევე საზღვრავენ როგორც მეთოდიკით არის მოცემული. საკალიბრო მრუდის აგებისას აბსცისთა ღერძზე გადაზომილია ნიტრიტების კონცენტრაცია მგ N/ლ-ზე, ხოლო ორდინატაზე კი ოპტიკური სიმკვრივე.

#### ანგარიში

ნიტრიტების შემცველობა მგ N/ლ-ში განისაზღვრება ფორმულით

$$Cx=Cn$$

სადაც C-არის საკალიბრო მრუდზე განსაზღვრული ნიტრიტების კონცენტრაცია, მგ N/ლ.

$n$  – არის წყლის საწყისი სინჯის განზავების ხარისხი (თუ სინჯი განუზავებელია, მაშინ  $n=1$ ; თუ აღებულია 10 მლ და განზავებულია 50 მლ-მდე, მაშინ  $n=5$  მლ და ა.შ.).

### რეაქტივები

1. გრისის რეაქტივები. მშრალი გრისის რეაქტივი, ქიმიურად სუფთა, სრისავენ ფაიფურის ფილაში. თუ მზა რეაქტივი არ არის, მაშინ მზადდება შემდეგნაირად:

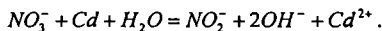
ა)  $\alpha$ -ნაფტილამინის ხსნარი. 0,2 გრ  $\alpha$ -ნაფტილამინს ხსნიან რამდენიმე წვეთ ყინულოვან ძმარმჟავაში და მოცულობა მიჰყავთ 150 მლ-მდე 12%-იანი ძმარმჟავით. რეაქტივის ინახავენ მიხეზილსაცობიან მუქ ჭურჭელში რამდენიმე თვის განმავლობაში. ბ) სულფანილ მჟავას ხსნარი. 0,5 გრ სულფანილმჟავას ხსნიან მცირე რაოდენობის 12% ძმარმჟავაში და მოცულობა მიჰყავთ 150 მლ-მდე. ხსნარს ინახავენ მუქ ჭურჭელში, რამდენიმე თვის განმავლობაში. გ) ძმარმჟავა – 12%-იანი 25 მლ ყინულოვან ძმარმჟავას ანზავებენ გამოხდილი წყლით 200 მლ-მდე, ხსნარს ინახავენ მიხეზილსაცობიან ჭურჭელში, რამდენიმე თვის განმავლობაში. სამუშაოდ  $\alpha$ -ნაფტილამინისა და სულფანილმჟავას ხსნარებს ურევენ თანაბარი მოცულობით, უშუალოდ განსაზღვრის წინ.

2. ნატრიუმის ნიტრიტის სტანდარტული ხსნარები. ( $NaNO_2$ -ქიმიურად სუფთა):

ა) სტანდარტული ხსნარი – 250 მგ  $N/ლ$ .  $110^{\circ}C$ -ზე გამოშრალ და კალციუმის ქლორიდთან ექსკავატორში გაციებულ 0,6157 გრ ნატრიუმის ნიტრიტს ხსნიან 500 მლ მზომ კოლბაში გამოხდილი წყლით. ხსნარს ინახავენ  $3-5^{\circ}C$  ტემპერატურაზე რამდენიმე კვირის განმავლობაში. ბ) სამუშაო სტანდარტული ხსნარი – 5 მგ  $N/ლ$ . 5 მლ სტანდარტულ ხსნარს ანზავებენ 250 მლ მზომ კოლბაში გამოხდილი წყლით. ხსნარს ამზადებენ განსაზღვრის წინ.

### ნიტრატების განსაზღვრა სპექტროფოტომეტრული მეთოდით

მეთოდის არსი. ამ მეთოდით ნიტრატების განსაზღვრა კონცენტრაცია შეადგენს 0,01-0,35 მგ  $N/ლ$ . მაღალი კონცენტრაციის შემთხვევაში სინჯს ანზავებენ. ნიტრატების განსაზღვრის სპექტროფოტომეტრული მეთოდი დაფუძნებულია მეტალური კადმიუმით ნიტრატების აღდგენაზე:



ამის შემდეგ ხდება წარმოქმნილი ნიტრიტების განსაზღვრა გრისის რეაქტივებით, ან  $N$ -(ნაფტილ)-ეთილენდიამინითა და სულფანილამიდით. კადმიუმის ევექტურობა, როგორც აღმდგენლის, მნიშვნელოვნად იზრდება სპილენძის მარილის ხსნარით წინასწარი დამუშავებისას. ამ

დროს აღდგენილი სპილენძი ილექება კადმიუმის ზედაპირზე და წარმოქმნის მასთან ერთად გალვანურ წყვილს. ნიტრატების აღდგენის ხარისხი დამოკიდებულია ხსნარის pH-ზე და მაქსიმალურია, როდესაც  $\text{pH}=9,6$ . კადმიუმის რედუქტორის მუშაობის ხანგრძლიობა მაღალია.

ნიტრიტების ოპტიკური სიმკვრივეს საზღვრავენ  $\lambda=536$  ნმ სიგრძის ტალღაზე.

### ხელისშემშლელი პირობები

განსაზღვრას ხელს იშლიან ჰუმუსური ნივთიერებები. ეს ნივთიერებები სპილენძთან და კადმიუმთან ურთიერთქმედებისას წარმოქმნიან კომპლექსურ ნაერთებს, რომლებიც გროვდებიან მეტალის ზედაპირზე და არღვევენ რედუქტორის ნორმალურ მუშაობას. ამიტომ საჭიროა შეფერილი წყლების ანალიზისას საანალიზო სინჯის წონასწარი დამუშავება გააქტიურებული ალუმინის ოქსიდით, რომელიც არ შეიცავს ნიტრატებს. ამისათვის 300-350 მლ შეფერილი წყლის უმატებენ ~25 მლ. მოცულობის ალუმინის ოქსიდს, კარგად შეანჯღრევენ, შემდეგ აყოვნებენ მცირე დროის განმავლობაში და ფილტრავენ არამკვრივი ფილტრის ქაღალდით (თეთრი, ან წითელი ლენტინი).

გოგირდწყალბადის მნიშვნელოვანი რაოდენობით თანაობისას წყლის სინჯს წინასწარ უმატებენ  $\text{CdCl}_2$  მცირეოდენი სიჭარბით სულფიდ-იონთან დამოკიდებულებით და ფილტრავენ, ან ცენტრიფუგირებით აცილებენ  $\text{CdS}$ -ნალექს. წინააღმდეგ შემთხვევაში კადმიუმის ზედაპირზე წარმოიქმნება სულფიდი, რომელიც არღვევს რედუქტორის მუშაობას. კადმიუმთან ხსნართან ურთიერთქმედებისას წყალში არსებული ნიტრიტების უზნიშვნელო დანაკარგი (~1%) აღდგენითი პროცესების დროს აუცილებელია მხედველობაში მიღებულ იქნას მხოლოდ მაშინ, როდესაც ნიტრიტების რაოდენობა მნიშვნელოვნად აღემატება ნიტრატების რაოდენობას. ამ შემთხვევაში შემოღებულია შესწორება ნიტრიტების შემცველობის განსაზღვრავად შემდეგი ფორმულით:

$$C_x = Cn - 0,99C_1,$$

სადაც  $C_x$  – წყლის სინჯში ნიტრატების კონცენტრაციაა, მგ  $N/l$ ;

$C$  – ნიტრატებისა და აღდგენილი ნიტრიტების ჯამური კონცენტრაციაა, მგ  $N/l$ ;

$n$  – საწყისი წყლის სინჯის განზაების ხარისხი;

$C_1$  – სინჯში ნიტრიტების კონცენტრაციაა მგ  $N/l$ .

სხვა შემთხვევაში დანაკარგი არ აღემატება მეთოდის ცდომილებას. მინერალური წყლების ანალიზისას მარილების გავლენას ითვალისწინებენ საკალიბრო მრუდის აგებისას.

## ანალიზის მსვლელობა

ანალიზისათვის იღებენ ორ წილ საკვლევ წყალს: 25 და 100 მლ. პირველში საზღვრავენ ნიტრიტებს, ხოლო მეორეში კი ახორციელებენ ნიტრატების აღდგენას ნიტრიტებად. ამისათვის 100 მლ. საანალიზო წყალს ათავსებენ 250 მლ. კოლბაში, ან ჭიქაში, უმატებენ 2 მლ. ამონიუმის ქლორიდის ხსნარს. ხსნარს კარგად შეურევენ და ატარებენ კადმიუმის რედუქტორში 8-10 მწთ სიჩქარით, (წამბოძის მიხედვით), რედუქტორში გასულ პირველ 70 მლ წყალს ღვრიან. დარჩენილ 25 მლ. აგროვებენ ცალკე მიმღებში და იმ წამსვე უმატებენ 10 მგ. მშრალ გრისის რეაქტივებს. ნარევს ურევენ და 40 წთ შემდეგ საზღვრავენ ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივეს სპექტროფოტომეტრზე ( $\lambda=536$  სმ,  $v=18600$  სმ), ან ფოტოელექტროკოლორიმეტრზე (მწვანე შუქფილტრი) 1 სმ სისქის კიუვეტში. შესადარებლად იყენებენ გამოსხილ წყალს. დაბალი კონცენტრაციის ნიტრატების განსაზღვრავად (0,010-0,100 მგ N/ლ) გამოიყენება 5 სმ სისქის კიუვეტი (ამ შემთხვევაში საკალიბრო მრუდის აგების დროსაც იყენებენ 5 სმ სისქის კიუვეტს). ნიტრატების შემცველობას (მგ N/ლ) საზღვრავენ საკალიბრო მრუდით.

## საკალიბრო მრუდის აგება

100 მლ მზომ კოლბაში იღებენ 0; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 6,0 მლ სამუშაო სტანდარტულ ხსნარს და მოცულობა მიჰყავთ ჭდემდე გამოსხილი წყალით. ამ ხსნარების კონცენტრაცია შესაბამისად ტოლია: 0; 0,025; 0,050; 0,10; 0,15; 0,20; 0,30 მგ N/ლ. განსაზღვრას აწარმოებენ ზემოთ აღნიშნული მეთოდის მიხედვით. საკალიბრო მრუდის აგებისას აბსცისთა ღერძზე გადაზომილია ნიტრატების კონცენტრაცია მგ N/ლ-ში, ხოლო ორდინატაზე კი ოპტიკური სიმკვრივე.

## ანგარიში

ნიტრატების შემცველობას მგ N/ლ-ში საზღვრავებ ფორმულით

$$C_x = C \cdot n - C_1,$$

სადაც  $C$  - რედუქტორში გატარებული ხსნარში ნიტრატებისა და ნიტრიტების კონცენტრაციაა, მგ N/ლ, რომელიც განსაზღვრულია ნიტრატების საკალიბრო მრუდით,

$n$  - საწყისი წყლის სინჯის განზავების ხარისხია (თუ საწყის სინჯს არ ანზავებენ, მაშინ  $n=1$ , ხოლო თუ 20 მლ აზავებენ 100 მლ-მდე, მაშინ  $n=5$  და ა.შ.).

$C_1$  - ნიტრიტების საკალიბრო მრუდზე განსაზღვრულია ნიტრიტების კონცენტრაცია, მგ N/ლ.

## რეაქტივები:

1. ამონიუმის ქლორიდის ხსნარი  $NH_4Cl$ , ქიმიურად სუფთა, 175 მგ.  $NH_4Cl$  ხსნაიან გამოხდილ წყალში და მოცულობა მიჰყავთ 500 მლ-მდე. ხსნარი მდგრადია რამდენიმე თვის განმავლობაში.

2. სპილენძის სულფატის ხსნარი  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ , ქიმიურად სუფთა. 20 გ  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  ხსნაიან გამოხდილ წყალში და მოცულობა მიჰყავთ 1 ლ-მდე. ხსნარს ამზადებენ ანალიზის ჩატარების წინ.

3. მეტალური კადმიუმი, 99,9%-იანი, მოსპილენძებული. რედუქტორს ავსებენ მოსპილენძებული კადმიუმით (ნაქლიბის სახით); თუ ასეთი რეაქტივი არ გვაქვს, მაშინ ნაქლიბს იღებენ შემდეგნაირად:

კადმიუმის ჩხირს (რომელსაც იღებენ გრანულირებული კადმიუმის გაღობით მინის სინჯარაში, შემდეგ გაციეებით და სინჯარის დამტვრევით). ამაგრებენ მაგიდის დაზგაზე და ხერხით ქლიბავენ. მიღებულ ნაქლიბს ატარებენ 2 და 0,5 მმ ფორებიან საცერზე, იყენებენ ნაქლიბის იმ ფრაქციას, რომელიც გადის პირველ საცერზე და კავდება მეორეზე. 100 გრ ნაქლიბს რეცხავენ გამოხდილი წყლით, ამჟავებენ მარილმჟავათი, უმატებენ 500 მლ  $CuSO_4$  ხსნარს და ურევინ ხსნარის გაუფერულებად. მოსპილენძებული კადმიუმი ხსნართან ერთად გადააქვთ სვეტ-რედუქტორში, რომელიც წინასწარ შეესვებულა გამოხდილი წყლით ისე, რომ არ იყოს ჰაერის ბუშტულაკები. მოსპილენძებული კადმიუმი გადააქვთ რა სვეტში განუწყვეტლივ ახდენენ ვიბრაციას რეზინის თავიანი მინის წკირით. აუცილებელია სვეტი თანაბრად, მთლიანად შეივსოს კადმიუმით. მოსპილენძებული კადმიუმიანი ფენის სიმაღლე ტოლი უნდა იყოს ~2,5 სმ. მუშაობის დაწყების წინ სვეტში ატარებენ 300-500 მლ კადმიუმის ნიტრატის სტანდარტულ ხსნარს, რომელიც შეიცავს 0,2 მგ  $N/l$  ნიტრატებს. შემდეგ სვეტს რეცხავენ 100 მლ გამოხდილი წყლით და ატარებენ სტანდარტულ ხსნარებს საკალიბრო მრუდის ასაგებად. კადმიუმის აღმდგენი თვისებების შესამოწმებლად ყოველი სერია წყლის სინჯის წინ რედუქტორში ატარებენ 0,10 მგ  $N/l$  კონცენტრაციის ნიტრატის სტანდარტულ ხსნარს და საზღვრავენ წარმოქმნილ ნიტრიტიონებს. მიღებული ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივეს ადარებენ საკალიბრო მრუდთან და თუ უკანასკნელის მნიშვნელობამ დაიკლო 10%-ზე მეტად, მაშინ აუცილებელია კადმიუმის რეგენერირება. ამისათვის იგი გადააქვთ 500 მლ ჭიქაში და რეცხავენ 300 მლ 5%-იანი მარილმჟავათი. ახდენენ მჟავის დეკანტაციას, პროცედურას იმეორებენ. საბოლოოდ მეტალს რეცხავენ გამოხდილი წყლით ჩამრეცხი წყლის pH-მდე, რომელიც ტოლია 6-ის და აშრობენ. წონიან 100 გრ კადმიუმს და აწარმოებენ ხელმეორედ სუფთა კადმიუმის მოსპილენძებას, როგორც ზეითაა აღნიშნული.

4. მარილმჟავა, -5%. 143 მლ. კონცენტრირებული მარილმჟავას ანზაებენ 1 ლ-მდე გამოხდილი წყლით.

5. გრისის რეაქტივი ქიმიურად სუფთა. მზა მშრალ რეაქტივის გამოყენების წინ სრისავენ ფილაში.

6. კადმიუმის ნიტრატის სტანდარტული ხსნარები:

ა) სტანდარტული ხსნარი – 250 მგ *N/l*. 100°C-ზე გამოშრალ და კალციუმის ქლორიდან ექსიკატორში გაციებულ ქიმიურად სუფთა 0,902 გრ *KNO<sub>3</sub>* ხსნიან გამოხდილი წყლით და ხსნარის მოცულობა მიჰყავთ 500 მლ-მდე.

ბ) საშუაო სტანდარტული ხსნარი – 5 მგ *N/l* 5 მლ სტანდარტულ ხსნარს ანზაებენ 250 მლ გამოხდილი წყლით.

7. ალუმინის ჟანგი *Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*, რომელიც გამოიყენება ქრომატოგრაფიისთვის, ან „უწყლო“. 50 გრ *Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>* უმატებენ 200 მლ 2 ნ *KOH*-ის ხსნარს, აყოფნებენ 10 სთ განმავლობაში, შემდეგ დეკანტაციით რეცხავენ ნეიტრალურ რეაქტივად, რომელსაც ამოწმებენ ინდიკატორული ქაღალდით. ნეიტრალურ ჩამრეცხ წყალში ამოწმებენ ნიტრატის იონების შემცველობას (არ უნდა შეიცავდეს). გარეცხილ ალუმინის ჟანგს აშრობენ და წვავენ მუფელში 700°C-ზე, ინახავენ მიხეხილ საცობთან ჭურჭელში.

8. კალიუმის ტუტის ხსნარი *KOH*, ქიმიურად სუფთა 2 ნ. 22,4 გრ. *KOH* ხსნიან მცირე რაოდენობის გამოხსნილ წყალში და ხსნარის მოცულობა მიჰყავთ 200 მლ-მდე. ხსნარს ამზადებენ გამოყენების წინ.

#### ნიტრატების განსაზღვრის ფოტომეტრული მეთოდი ნატრიუმის სალიცილატით

კონცენტრირებული გოგირდმჟავის არეში ნიტრატ-იონები ნატრიუმის სალიცილატთან წარმოქმნიან 3-ნიტროსალიცილ და 5-ნიტროსალიცილ მჟავებს, რომელთა მარილებს ტუტე არეში აქვთ მოყვითალო შეფერილობა. ნიტრატები ისაზღვრება 0,1-20 მგ/ლ კონცენტრაციით.

ხელისშემშლელი პირობები: განსაზღვრას ხელს უშლიან შეღებილი ნივთიერებები. მათი მოცილებისათვის სინჯს ამუშავებენ ალუმინის ჰიდროქსიდის სუსპენზიით. 200 მგ/ლ-ზე მეტი კონცენტრაციის ქლორიდები ხელს უშლიან განსაზღვრას. მათ აცილებენ სინჯის ვერცხლის სულფატით დამუშავებისას. უმეტეს შემთხვევაში ქლორიდების გაკლენის მოცილება ხდება სინჯის განზავებით. 5 მგ/ლ-ზე მეტი კონცენტრაციის რკინის (ასევე მრავალი მძიმე მეტალის) გაკლენის მოცილება ხდება სინჯის ალუმინის ჰიდროქსიდის სუსპენციის დამუშავებით. 1-2 მგ/ლ კონცენტრაციის ნიტრიტები გაკლენას არ ახდენენ, ხოლო 2 მგ/ლ-ზე მეტი კონცენტრაციის

ნიტრიტ-იონების შემცველობისას 20 მლ სინჯს აორთქლებენ წყლის აბაზანაზე 0,05 გრ ამონიუმის სულფატის დამატებით. 20 მგ/ლ კონცენტრაციის ნიტრიტ-იონებისას ნიტრატი-იონების განსაზღვრის შედეგები მიიღება 1 მგ/ლ-ით მეტი რაოდენობით.

#### რეაქტივები

1. ნატრიუმის სალიცილატი – 0,5% ხსნარი. 0,5 გრ მარილს ხსნიან 100 მლ გამოხდილი წყალში. გამოიყენება ახლად მომზადებული.
2. გოგირდმჟავა – სიმკვრივით 1,84 გ/სმ<sup>3</sup>, ქს., ან ქს.ან., არ უნდა შეიცავდეს ნიტრატებს.
3. ნატრიუმის ტუტისა და სეგნეტის მარილი. 400 გ NaOH (ქს.ან) და 60 გრ სეგნეტის მათილს (ქს.ან) ხსნიან გამოხდილ წყალში და გაციების შემდეგ ავსებენ 1 ლიტრამდე გამოხდილი წყლით.
4. კალიუმის ნიტრატის სტანდარტული ხსნარები: ა) ძირითადი ხსნარი: 0,1631 გრ KNO<sub>3</sub>, ქს.ან, რომელიც გამომშრალია 105°C-ზე, ხსნიან გამოხდილ წყალში, უმატებენ 1 მლ ქლოროფორმს და მოცულობა მიყავთ 1 ლიტრამდე გამოხდილი წყლით. ამ ხსნარის 1 მლ შეიცავს 100 მკგ NO<sub>3</sub><sup>-</sup> -ს.  
ბ) საშუალო ხსნარი: 100 მლ ძირითად სტანდარტულ ხსნარს ანაზებენ 100 მლ-მდე გამოხდილი წყლით. მიღებული ხსნარის 1 მლ შეიცავს 10 მკგ NO<sub>3</sub><sup>-</sup> -ს. ხსნარი გამოიყენება ახლად მომზადებული.
5. ალუმინის ჰიდროქსიდის სუსპენზია: 125 გრ ალუმოკალიუმთან, ან ალუმოამონიუმთან შაბს ხსნიან 1 ლ წყალში, აცხელებენ 60°C-მდე და ნელნელა, მუდმივი მორევისას უმატებენ 55 მლ ამიაკის კონცენტრირებულ ხსნარს. აყოვნებენ 1 საათის განმავლობაში. შემდეგ გადააქვთ დიდი ზომის ჭურჭელში (~8 ლ) და ალუმინის იქსიდის ნალექს რეცხავენ მრავალჯერადი დეკანტაციით გამოხდილი წყლით ქლორიდების, ნიტრიტებისა, ნიტრატებისა და ამიაკის მოცილებამდე.

#### ანალიზის მსვლელობა:

თუ საანალიზო წყალი შეიცავს ფერად ორგანულ ნივთიერებებს, მაშინ იღებენ 150 მლ სინჯს, უმატებენ 3 მლ ალუმინის ჰიდროქსიდის სუსპენზიას, კარგად ურევინ, აყოვნებენ რამდენიმე წუთის განმავლობაში და ფილტრავენ. მიღებულ პირველ პორცია ფილტრატს ღვრიან. 20 მლ ფილტრატს (ან თავდაპირველ სინჯს, რომელიც არ იყო დამუშავებული ალუმინის ჰიდროქსიდით) უმატებენ 2 მლ ნატრიუმის სალიცილატის ხსნარს და აორთქლებენ ფიფურის ჯამში წყლის აბაზანაზე სიმშრალემდე. მშრალ ნალექს გაციების შემდეგ უმატებენ 2



მლ გოგირდმჟავას და აყონებენ 10 წუთის განმავლობაში. შემდეგ უმატებენ 15 მლ გამოხდილ წყალს და 15 მლ ნატრიუმის ტუტისა და სეგნეტის მარილიან ხსნარს. გადააქეთ 50 მლ-იან მზომ კოლბაში. ჯამის კედლებს რეცხავენ გამოხდილი წყლით, აციებენ ოთახის ტემპერატურამდე, მოცულობა მიყავთ 50 მლ-მდე და საზღვრავენ მიღებული შეფერილი ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივეს  $\lambda=410$  ნმ სივრძის ტალღაზე 5 სმ სისქის კიუვეტში. ნატრიუმის ტუტის მიმატების შემდეგ 10 წუთის განმავლობაში ხსნარის შეფერილობა არ იცვლება. მიღებული ოპტიკური სიმკვრივის მნიშვნელობას აკლებენ ყრუ ცდისას 20 მლ გამოხდილი წყლის ოპტიკური სიმკვრივის მნიშვნელობას. გამოხდილი წყალი დამუშავებულია ანალოგიურად.

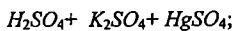
განსაზღვრის შედეგებს იღებენ საკალიბრო გრაფიკიდან. რისთვისაც აჟუსტირებენ 0; 0,5; 1,0; 20,0 მლ  $KNO_3$ -ის სამუშაო ხსნარს. მოცულობა მიყავთ 20 მლ-მდე. განსაზღვრას აწარმოებენ ისევე, როგორც ანალიზის მსვლელობაში მოცემული. აგებენ საკალიბრო მრუდს კოორდინატებში: ოპტიკური სიმკვრივე – ნიტრატ-იონების კონცენტრაცია.

#### 1.4. საერთო აზოტის განსაზღვრა ამიაკად გადაყვანის შემდეგ

სინჯში აღებულ ნიტრიტებს და ნიტრატებს აღადგენენ წყალბადით ამიაკამდე გამოყოფის მომენტში, ამის შემდეგ ხსნარის მინერალიზაციას ახდენენ გოგირდმჟავათი კალიუმის სულფატის თანაობისას  $345-370^{\circ}C$ -ზე ვერცხლისწყლის სულფატით კატალიზური მოქმედებისას. ამ მეთოდით ყველა აზოტშემცველი ნივთიერება გადადის ჰიდროსულფატამონიუმში. მინერალიზებულ სინჯს უქმნიან ტუტე არეს, გამოხდიან ამიაკს, რომელსაც აგროვებენ მჟავა ხსნარში და საზღვრავენ გატიტრით.

#### რეაქტივები

1. რკინის ფხენილი (ქიმ. სუფ. ანალიზ.), აღდგენილი;
2. გოგირდმჟავა (ქიმ. სუფ. ანალიზ.), (1:3) განზავებული;
3. ნარევი მინერალიზაციისათვის



134. გრ (ქიმ. სუფ. ანალიზ.) ხსნიან 650 მლ ბიდისტელატში და უმატებენ 200 მლ კონცენტრირებულ გოგირდმჟავას (ქიმ. სუფ. ანალიზ.), შემდეგ უმატებენ  $HgSO_4$ -ის ხსნარს (2 კრ  $HgO$ -ს ხსნიან 25 მლ 20%-იან გოგირდმჟავაში). გაციების შემდეგ ხსნარი მიჰყავთ გამოხდილი წყლით 1 ლ-მდე.

4. ხსნარი ტუტე არის შესაქმნელად –  $NaOH + Na_2SO_4$ .

500 გრ. ნატრიუმის ტუტეს (ქიმ. სუფ. ანალიზ.) უმატებენ 25 გრ ნატრიუმის თიოსულფატს, ხსნიან ბიდისტილატში და მოცულობა მიყავთ 1 ლიტრამდე.

5. ფენოფტალეინი – 0,5% ხსნარი, 0,5 გრ ფენოფტალეინის ხსნიან 50 მლ 96%-იან ეთილის სპირტში და მოცულობა მიყავთ 100 მლ-მდე ბიდისტილატით.

გოგირდმჟავა, რომელიც გამოიყენება რეაქტივების მოსამზადებლად არ უნდა შეიცავდეს ნიტრატებს.

### ანალიზის მსვლელობა

კელდალის კოლბაში 25-100 მლ-მდე წყლის სინჯს (როდესაც აზოტის რაოდენობა უდრის 25 მგ/ლ, იღებენ 100 მლ, თუ  $N_2$  25-50 მგ/ლ კი იღებენ 50 მლ, ხოლო 50-100 მგ/ლ კი 25 მლ და ა.შ.) შემჟავებენ 5 მლ განზავებული გოგირდმჟავის მიმატებით. უმატებენ 0,5 გრ რკინის ფხვნილს. ხსნარს აცხელებენ წყლის აბაზანაზე მანამ, სანამ კოლბაში არ დარჩება რკინის უმნიშვნელო რაოდენობა, გაციების შემდეგ უმატებენ მინერალიზაციისათვის 50 მლ ნარევის და ადულებენ. მინერალიზაცია 20-30 წთ შემდეგ დამთავრებულად ითვლება ნარევის გაღიაფერების შემდეგ. კოლბაში დარჩენილ ნაწილს ხსნიან 300 მლ ბიდისტილატში, უმატებენ რამდენიმე წვეთ ფენოლფტალეინის და ანეიტრალებენ იმ ხსნარით, რომელიც საჭიროა ტუტე არის შესაქმნელად მკრთალ-ვარდისფერ შეფერილობამდე, კოლბას აერთებენ გამოსახდელ აპარატთან, ხლიან 200 მლ და აგროვებენ მჟავიან მიმღებში. მიღებულ ამიაკს საზღვრავენ მოცულობითი, ან კალორიმეტრიული მეთოდით. ხსნარს ტიტრავენ ნატრიუმის ტუტის ხსნარით მეთილ-წითელი, ან შერეული ინდიკატორით. პარალელურად საზღვრავენ ტუტის ხსნარის რაოდენობას, რომელიც იხარჯება მიმღებში მოთავსებულ 25 მლ მჟავას გატიტრავზე დამატებული ინდიკატორის იმავე შეფერილობის მიღებამდე.

### ანგარიში

საერთო აზოტის რაოდენობა მგ/ლ-ში გამოითვლება ფორმულით:

$$X=C \cdot 0,78,$$

სადაც  $C$  არის განზავებული ამიაკის კონცენტრაცია, მგ  $NH_4^+$ /ლ.

0,78 –  $NH_4^+$  – ის  $N$ -ზე გადასათვლელი კოეფიციენტი.

### 1.5. ამონიუმის იონის განსაზღვრა

ამიაკი და ამონიუმის იონები წარმოიქმნებიან გრუნტის წყლებში და სასმელ წყალში მიკროორგანიზმების ცხოველმყოფელების შედეგად. ზედაპირულ წყლებში ამიაკი და ამონიუმის

იონები წარმოიქმნებიან ვეგეტაციის პერიოდში ცილოვანი ნივთიერებების ბიოქიმიური დაშლის შედეგად, ამინოჟანების დეზამინირებისას, შარდოვანას დაშლის შედეგად ურეაზის მოქმედებით. ამიტომ ამინოუმის იონების კონცენტრაციის გაზრდა შეიძლება წყლის ორგანიზმების კვლამის პერიოდში, განსაკუთრებით მათი დაგროვების ზონაში: წყალსაცავების ფსკერპირა ფენებში, ფიტო- და ბაქტერიოპლანქტონის მაღალ სიმკვრივიან ფენებში. მათი მნიშვნელოვანი რაოდენობა მიიღწევა ზედაპირული ჩანადრებით, რომელშიც ამინოუმის იონი ხშირად აკარბებს დანარჩენ კათიონების რაოდენობას. ამიაკის ბუნებრივ წყაროს წარმოადგენს აგრეთვე, ჰიდრობიონტების, კერძოდ უხერხემლოების ცხოველმომქმედური გამონაყოფები. ზოგიერთ შემთხვევაში ამინოუმის იონები წარმოიქმნებიან ნიტრიტებისა და ნიტრატების აღდგენით ანაერობულ პირობებში. ამინოუმის იონების მაღალი კონცენტრაცია დამახასიათებელია კვების, კოქსოქიმიური, სატყეოქიმიური და ქიმიური მრეწველობის სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო ჩამდინარე წყლებისათვის.

ამინოუმის იონების კონცენტრაციის შემცირება ძირითადად ხდება ავტოტროფებით, მაფოტოსინთეზირებელი და ნიტრიფიცირებადი მიკროორგანიზმების მიერ მათი მოხმარებით. ზედაპირულ წყლებში ამინოუმის აზოტი ძირითადად გვხვდება ამინოუმის იონებისა და არადისოცირებადი მოლეკულის  $NH_4OH$ -ის სახით. ამ ფორმების რაოდენობრივ თანაფარდობას აქვს ეკოლოგიური მნიშვნელობა და განისაზღვრება pH-თა და რამდენამდე წყლის ტემპერატურით. ანალიზის შედეგების მიხედვით, ე.ი. ამინოუმის იონებისა და ამიაკის საერთო შემცველების მიხედვით შეიძლება განისაზღვროს ცალკეული მათი კონცენტრაცია pH-ის სხვადასხვა მნიშვნელობისას. ამიაკის საერთო რაოდენობა გამოისახება მგ-ექვ/ლ-ში. ცხრილის მიხედვით საზღრავენ  $NH_3$ -სა და  $NH_4^+$  - იონის კონცენტრაციებს მგ-ექვ/ლ-ში. მიღებულ სიდიდეებს შესაბამისად ამრავლებენ 17,03-ზე და 18,04-ზე, რითაც იღებენ  $NH_3$ -სა და  $NH_4^+$  - კონცენტრაციებს მგ/ლ-ში.  $NH_4^+$  -ის ფარდობითი შემცველობა პროცენტებში. გამოითვლება ცხრილში მოცემული  $NH_3$  შემცველობის 100%-იანი მნიშვნელობიდან გამოკლებით.

ცხრილი 3

წყალში  $NH_3$ -ის შემცველობა, %

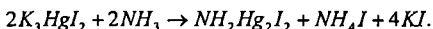
t°C	pH								
	6	7	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11
25	-0,05	0,49	4,7	13,4	32,9	60,7	83,1	93,9	98,0
15	-0,02	0,23	2,3	6,7	19,0	42,6	70,1	88,1	96,0
10	-0,01	0,11	0,9	3,3	9,7	25,3	51,7	77,0	91,5

$NH_4OH$ -ისა და ამონიუმის იონების მნიშვნელოვანი ნაწილი შესაძლებელია მიგრირებდეს მინერალურ და ორგანულ შეწონილ ნაწილაკებზე სორბირებული სახით, ასევე სხვადასხვა კომპლექსური ნაერთების სახით.

სუფთა ზუდაპირულ წყლებში, რომლებიც ხასიათდებიან ჟანგბადის მაღალი შემცველობით და ჟანგა-აღდგენითი პოტენციალის მაღალი სიდიდით ამონიუმის იონების კონცენტრაცია შეადგენს  $n \cdot 10^{-3} - n \cdot 10^{-2}$  მგ/ლ. მდინარეებში და წყალსაცავებში აღწევს  $n \cdot 10^{-1}$  N/ლ, ზღვის წყლებში – 0,01-0,2 N/ლ, ზოგჯერ აღწევს 1 მგ N/ლ და მეტს (მაგალითად, შავი ზღვის ღრმა ფენებში). მიწისქვეშა წყლების ჩაკეტილ სტრუქტურებში, სადაც ნიტრიფიკატორების მოქმედება ძალიან შეზღუდულია ამონიუმის იონების კონცენტრაციამ შეიძლება გადაჭარბოს 100 მგ N/ლ. ამონიუმის იონების კონცენტრაცია იცვლება სეზონურად. შემცირებული კონცენტრაცია დამახასიათებელია გაზაფხულზე, ხოლო ფიტოპლანქტონის ინტენსიური ფოტოსინთეზური მოქმედების პერიოდში და ზაფხულში იზრდება ორგანული ნივთიერებების ბაქტერიოროლოგიური დაშლის პროცესის გაძლიერების შედეგად. შემოდგომა-ზამთრის პერიოდში ამონიუმის იონების გაზრდილი რაოდენობა დაკავშირებულია ორგანული ნივთიერებების მინერალიზაციის გაგრძელებასთან ფიტოპლანქტონის მიერ მცირედ მოხმარების პირობებში. ამონიუმის იონების გაზრდილი რაოდენობა მიუთითებს წყალსაცავების სანიტარულ დაბინძურებაზე. ზღვ  $NH_4^+$  შეადგენს 2 მგ/ლ. სეზონური ცვლილებების ამპლიტუდა ასევე მიუთითებს წყლის ობიექტების ავტოროფიკაციაზე და აზოტშემცველი ორგანულ ნივთიერებებით გაჭუჭყიანების ხარისხზე, კვებისა და მრეწველობის სხვა დარგის სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო ჩამდინარე წყლებით დაბინძურებაზე. ამონიუმის იონებისა და ნიტრიტების გაზრდილი კონცენტრაცია მიუთითებს წყლის ანლად დაბინძურებაზე, ხოლო ნიტრატების გაზრდილი რაოდენობა კი მიუთითებს დიდი ხნის დაბინძურებაზე.

ამიაკი (უფრო ზუსტად  $NH_4OH$ ) უფრო ტოქსიკურია, ვიდრე ამონიუმის იონი. ამიტომ ამ ნივთიერებებით წყალსაცავების გაჭუჭყიანებაზე არსებით გავლენას ახდენს არის pH, რომლის გაზრდაც საშიშია ჰიდრობიონტებისათვის.

განსაზღვრის მეთოდი დაფუძნებულია ტუტე ამიაკის ურთიერთმოქმედებაზე კალიუმის ვერცხლის იოდთან, რომლის დროსაც წარმოიქმნება მოყვითალო-ყავისფერი ნალექი:



სინჯის აღება, დამუშავება და შენახვა

ამონიუმის იონი ბიოქიმიურად არამდგრადია. ამიტომ უნდა განისაზღვროს სინჯის აღებისთანავე. აღებულ სინჯს ფილტრავენ 0,45 მკ მემბრანული ფილტრით. თუ ანალიზი ვერ ჩატარდება აღებისთანავე მაშინ გაფილტრულ სინჯს აკონსერვებენ 1 ლ წყალზე 2-4 მლ

ქლოროფორმის მიმატებით. ასეთ შემთხვევაში სინჯს ინახავენ 1-3 დღე-ღამის განმავლობაში 0-3°C ტემპერატურაზე.

### ანალიზის მსვლელობა

იღებენ 50 მლ შზომ კოლბაში 50 მლ წყლის სინჯს (ნაკლები რაოდენობისას ხსნარის მოცულობა ბიდისტილატით მიყავთ 50 მლ-მდე). უმატებენ 0,5-1 მლ სეგნეტის მარილს ან კომპლექსონ III-ის ხსნარს. ერთმანეთში ურევენ. შემდეგ უმატებენ 1 მლ ნესლეერის რეაქტივის, ისევ შეურევენ. აყოვნებენ 10 წუთის განმავლობაში და საზღვრავენ ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივეს იისფერ შუქფილტრზე ( $\lambda = 400-425$  ნმ) 1-5 სმ სისქის კიუვეტით.

$NH_4^+$  შემცველობას საზღვრავენ შემდეგი ფორმულებით:

$$x = \frac{c \cdot 50}{v} \text{ მგ/ლ,}$$

$$y = \frac{c \cdot 50}{18,04 \cdot v} = \frac{2,77 \cdot c}{v} \text{ მგ-ექვ/ლ,}$$

სადაც  $c$  – საკალიბრო მრუდზე განსაზღვრული  $NH_4^+$  –ის კონცენტრაცია, მგ/ლ;

18,04 –  $NH_4^+$  –ის ექვივალენტი;

50 – სინჯის მოცულობა, მლ;

$v$  – საანალიზო სინჯის მოცულობა, მლ.

### ხელისშემშლელი პირობები

განსაზღვრავს ხელს უშლის ამინები, ქლორამინი, აცეტონი, ალდეჰიდები, სპირტები და ზოგიერთი ის ორგანული ნივთიერებები, რომლებიც რეაგირებენ ნესლეერის რეაქტივთან. მათი თანაობისას ამიაკს საზღვრავენ გამოხდით.

აგრეთვე განსაზღვრავს ხელს უწყობს წყლის სიხისტის განმაპირობებელი კომპონენტები, რკინა, სულფიდები, ქლორი, სიმღვრივე. სიხისტის მოსაცილებლად უმატებენ სეგნეტის მარილს ან კომპლექსონ III-ის ხსნარს. მღვრიე ხსნარებს აცენტრიფუგირებენ ან ფილტრავენ მინის ბამბით, ან ქალაღდის ფილტრით.

დიდი რაოდენობის რკინის სულფიდებისა და სიმღვრივის მოსაცილებლად უმატებენ თუთიის სულფატს. 100 მლ სინჯზე უმატებენ 1 მლ თუთიის სულფატის ხსნარს (100 გრ  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ , ქს.ან., ხსნიან 1 ლ ბიდისტილატში) და ნარევენ ფრთხილად ანჯღრევენ. შემდეგ pH მიყავთ 10,5-მდე 25%-იანი  $KOH$  ხსნარის მიმატებით. ამოწმებენ pH-ს. შენჯღრევისა და

ფანტელეების წარმონაქმნის შემდეგ ნალექს აცილებენ. ცენტრიფუგირებით ან ფილტრავენ მინის ფილტრით.

ქლორს აცილებენ ნატრიუმის არსენატის ან თიოსულფატის მიმატებით (3,5 გრ  $Na_2S_2O_4 \cdot 5H_2O$ , ქ.ს.ან., ან 1,0 გრ  $Na_3AsO_3$ , ქ.ს.ან., ხსნიან 1 ლ ბიდისტილატში).

0,5 მგ ქლორის მოსაცილებლად უმატებენ 1 მლ ერთ-ერთ მათგანს.

არააქროლადი ორგანული ნივთიერებების, ასევე ჰუმინური ნივთიერებების თანაობისას ამონიუმის იონის განსაზღვრას ატარებენ დისტილაციის შემდეგ.

### რეაქტივები:

1. ნესლერის რეაქტივი. 100 გრ  $HgI_2$  (ქ.ს.ან.) და 70 მლ  $KI$  (ქ.ს.ან.) ხსნიან მცირე რაოდენობის ბიდისტილატში, უმატებენ  $NaOH$ -ის ხსნარს (160 გრ  $NaOH$  (ქ.ს.ან.) ხსნიან 500 მლ დისტილირებულ წყალში), ხსნარის მოცულობა მიყავთ ბიდისტილატით 1 ლიტრამდე. 4 საათის დაყოვნების შემდეგ იყენებენ გამჭვირვალე ხსნარს.

2. ნატრიუმისა და კალციუმის ტარტრატი (სეგნეტის მარილი), 50%-იანი ხსნარი. 50 მლ  $KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$  (ქ.ს.ან.) ხსნიან 100 მლ ბიდისტილატში და უმატებენ 0,3-0,5 მლ ნესლერის რეაქტივს.

3. კომპლექსონ III, 50%-იანი ხსნარი. 10 გრ  $NaOH$  (ქ.ს. ან.) ხსნიან 60 მლ ბიდისტილატში. მიღებულ ხსნარში ხსნიან 50 გრ კომპლექსონ III-ს. ხსნარის მოცულობა ბიდისტილატით მიყავთ 100 მლ-მდე.

4. ნატრიუმის ტუტე, ქ.ს.ან., 15%-იანი ხსნარი (ბიდისტილატიანი).

5. ამონიუმის ქლორიდი, სტანდარტული ხსნარი: I ხსნარი: 0,2965 გრ  $NH_4Cl$  (ქ.ს.ან.) ხსნიან 1 ლ ბიდისტილატში. 1 მლ ხსნარი შეიცავს 0,100 მგ  $NH_4^+$ . ხსნარი უნდა იყოს ახლად მომზადებული. II ხსნარი. 50 მლ I ხსნარს ანზავებენ ბიდისტილატით 1 ლიტრამდე. 1 მლ ხსნარი შეიცავს 0,005 მგ  $NH_4^+$ . ხსნარი უნდა იყოს ახლად მომზადებული.

### საკალიბრო მრუდის აგება

50 მლ მზომ კოლბაში იღებენ 0,0; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0; ... ;40,0 მლ II საპუშო სტანდარტულ ხსნარს და მოცულობა მიყავთ ბიდისტილატით 50 მლ-მდე. მიღებული ხსნარების კონცენტრაციაა: 0,0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; ...; 4,0 მგ  $NH_4^+$  1 ლიტრში. ოპტიკური სიმკვრივის განსაზღვრას აწარმოებენ ანალიზის მსვლელობის მიხედვით. აგებენ საკალიბრო მრუდს ოპტიკური სიმკვრივის  $NH_4^+$  - ის კონცენტრაციასთან დამოკიდებულებით.

## თვისებითი განსაზღვრა

10 მლ წყლის სინჯს უმატებენ რამდენიმე კრისტალ სევენტის მარილს და 0,5 მლ ნესლერის რეაქტივს. ხსნარის ყვითელი შეფერილობა ან მოყვითალო-ყავისფერი ნალექის გამოყოფა მიუთითებს ამიაკის შემცველობაზე.

### 1.6 საერთო აზოტის განსაზღვრა

წყალსაცავების და გამწმენდი დანადგარების მატერიალური ბალანსების გათვლებისას მხედველობაში მიიღება აზოტის სხვადასხვა ნაერთების რაოდენობებს შორის თანაფარდობა და საერთო რაოდენობა. აზოტის რაოდენობა განისაზღვრება გათვლებით, ან არა უშუალოდ აზოტის ყველა ნაერთების ამიაკში გადაყვანის შემდეგ. თუ სინჯის ალბისთანავე არ ისაზღვრება საერთო აზოტი, მას აკონსერვებენ 1 მლ კონცენტრირებული აზოტმჟავის ან 2-4 მლ ქლოროფორმის მიმატებით 1 ლ სინჯზე. აზოტის რაოდენობა გამოითვლება მგ *N*/ლ.

### საერთო აზოტის განსაზღვრა გამოთვლით

მგ *N*/ლ-ში გამოსახულ ნიტრატების, ნიტრიტებისა და ამიაკის რაოდენობას ამრავლებენ შესაბამის გადამთვლელ კოეფიციენტებზე და უმატებენ ორგანული აზოტის რაოდენობას, გადამთვლელი კოეფიციენტები მოცემულია ცხრილში.

ცხრილი 4

აზოტის სხვადასხვა ნაერთების წონითი თანაფარდობა

	<i>N</i> , მგ	$NO_3^-$ , მგ	$NO_2^-$ , მგ	$NH_4^+$ , მგ
<i>N</i>	1,00	4,43	3,28	1,29
$NO_3^-$	0,23	1,00	0,74	0,29
$NO_2^-$	0,30	1,35	1,00	0,39
$NH_4^+$	0,78	3,44	2,56	1,00

### ანგარიში

საერთო *N*-ის რაოდენობა მგ/ლ-ში გამოითვლება ფორმულით:

$$X = a + b + c + d$$

სადაც *a* – ნიტრატების კონცენტრაცია, მგ *N*/ლ,

*b* – ნიტრიტების კონცენტრაცია, მგ *N*/ლ,

*c* – ამიაკის კონცენტრაცია, მგ *N*/ლ,

*d* – ორგანული აზოტის კონცენტრაცია, მგ *N*/ლ.

## შედეგების დამრგვალება

დიაპაზონი მგ/ლ	1,0-20,0	20,0-50,0	50,0-100,0	100,0-200,0
დამრგვალება მგ/ლ	0,5	1,0	2,0	5,0

### 1.7. ჟანგბადის ქიმიური მოხმარება (ჟქმ)

ზედაპირულ წყლებში ორგანულ ნივთიერებათა შემადგენლობა ფორმირდება მრავალი ფაქტორთა გავლენით. მათ შორის უმთავრეს წარმოადგენს წყალსაცავში მიმდინარე პროდუქციებისა და ტრანსფორმაციის ბიოქიმიური პროცესები, ასევე სხვა წყალსაცავიდან, მიწისქვეშა წყლებიდან შემოსული წყლები ატმოსფერული ნალექები, სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო სამრეწველო წყლები. წყალსაცავში წარმოქმნილი და შემოსული ორგანული ნივთიერებები თავისი ფიზიკო-ქიმიური თვისებებით სხვადასხვაგვარნი არიან, მათ შორის. დამჟანგველების მოქმედების მიმართ მდგრადობით. წყალში არსებული ადვილად და ძნელად დამჟანგავი ნივთიერებების თანაფარდობა მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს წყლის დამჟანგველობაზე, მის განსაზღვრის მეთოდის ამა თუ იმ პირობის დროს.

ზედაპირულ წყლებში ორგანული ნივთიერებები იმყოფებიან ხსნად, შეწონილ და კოლოიდურ მდგომარეობაში, ამიტომ ანსხვავებენ გაფილტრული (ხსნადი ორგანული ნივთიერებები) და გაუფილტრავი (ორგანული ნივთიერებების საერთო შემცველობა) სინჯის დამჟანგველობას. ამ მნიშვნელობებს შორის სხვაობით მსჯელობენ შეწონილი ნივთიერების დამჟანგველობაზე (არსებობს ასევე შეწონილი ნივთიერებების დამჟანგველობის პირდაპირი მეთოდიც).

ჟანგბადის რაოდენობას, რომელიც ეკვივალენტურია წყლის გამაჭუჭყიანებელი ორგანული და არაორგანული ნივთიერებების დაჟანგვაზე დახარჯული დამჟანგველის რაოდენობისა უწოდებენ ჟანგბადის ქიმიურ მოხმარებას (დამჟანგველობას).

გამოყენებული დამჟანგველების მიხედვით ანსხვავებენ პერმანგანატულ, ბიქრომატულ დამჟანგველობას და ა.შ. ყველა ეს მეთოდი პირობითია, ამიტომ საჭიროა ზუსტად იქნას დაცული ანალიზის მსვლელობა. შეიძლება განისაზღვროს საერთო დამჟანგველობა, ე.ი. სიდიდე რომელიც პროპორციულია ანალიზის პირობებში დაჟანგული ყველა ორგანული და მინერალური ნივთიერებისა. „დამჟანგველება შესწორებული“ რომლის სიდიდეც პროპორციულია მხოლოდ ორგანული ნივთიერების კონცენტრაციისა. კანონზომიერების მიხედვით ზედაპირულ წყლებში შემცველი სხვადასხვა ბუნებრივი ორგანული ნივთიერებების მიხედვით დადგენილია, რომ ბიოქიმიურად მდგრადი შეფერილი ჰუმუსური ნივთიერებები პერმანგანატით იჟანგება ადვილად,



ვიდრე სუსტად ტრანსფორმირებადი ნაერთები, რომლებიც წარმოიქმნებიან წყლის ორგანიზმების ცხოველმოქმედების შედეგად.

ზედაპირულ წყლებში დამჟანგველობის სიდიდე მერყეობს მილიგრამის წილიდან ათეულ მილიგრამამდე 1 ლიტრში, რომელიც დამოკიდებულია წყალსაცავის საერთო ბიოლოგიურ პროდუქტიულობაზე, ორგანული ნივთიერებათა და ბიოგენური ელემენტების ნაერთთა გაჭუჭყიანების ხარისხზე აგრეთვე, ბუნებრივი წარმოშობის ალოქტონური ორგანული ნივთიერებების ზეგავლენაზე, რომელიც შესაძლებელია შემოვიდეს ჭაობიდან, ტორფიანებიდან და ა.შ. სუფთა ზედაპირული წყლების დამჟანგველობა აელენს მკვეთრ ფიზიკო-გეოგრაფიულ ზონალობას.

გამოყოფილია შემდეგი ზონები:

ძალიან დაბალი დამჟანგველობა – 0-2 მგ  $O_2$ /ლ (მთიანი რაიონები);

დაბალი დამჟანგველობა – 2-5 მგ  $O_2$ /ლ (მთიანი რაიონები);

საშუალო დამჟანგველობა – 5-10 მგ  $O_2$ /ლ (ფართოფოთლოვანი ტყეების ზონები, ტყესტეპები, სტეპი, ნახევრადუდაბნური, უდაბნო და ტუნდრა).

მაღალი დამჟანგველობის ზონა – 15-20 მგ  $O_2$ /ლ. (ჩრდილო და სამხრეთი ტაიგა).

დამჟანგველობა დამოკიდებულია სეზონზე, ჰიდროლოგიურ, ჰიდრობიოლოგიურ რეჟიმზე და სხვ. წყალსაცავების დამჟანგველობაზე მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო ჩამდინარე წყლები.

ღრმა მიწისქვეშა წყლებში დამჟანგველობა შეადგენს 1-2 მგ  $O_2$ /ლ, გრუნტის წყლებში – 2-4 მგ  $O_2$ /ლ, რაც მაღალია წყლის შეფერილობა, მით მეტია დამჟანგველობა. ღია წყალსატევების წყლებში დამჟანგველობა მეტია 5-6 მგ  $O_2$ /ლ.

ზედაპირულ წყლებში არსებული მრავალი ორგანული ნივთიერებების დაჟანგვის ხარისხი ბიქრომატით გოგირმდჟეავს ხსნარში მიახლოებულია 100%-ს. ბიქრომატული დამჟანგველობის სიდიდით განისაზღვრება მათი ჯამური რაოდენობა, რომელიც გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$C = \frac{a \cdot 12}{32},$$

სადაც  $a$  – ბიქრომატული დამჟანგველობის სიდიდეა.

ორგანული ნივთიერების რაოდენობა განისაზღვრება მიღებული  $C$ -ს მნიშვნელობის 2-ზე გამრავლებით.

პერმანგანატომეტრიული დამჟანგველობის სიდიდითაც განისაზღვრება ორგანული ნივთიერების რაოდენობა. საშუალოდ, 1 მგ პერმანგანატომეტრიული დამჟანგველობის ჟანგბადი მიახლოებით შეესაბამება 1 მგ ორგანული ნივთიერების ნახშირბადს. თუმცა სხვადასხვა წყალსატევისათვის ეს თანაფარდობა იცვლება და გამოიყენება საორიენტაციო შეფასებისათვის.

ბიქრომატულთან პერმანგანატომეტრიული დამჟანგველობის ფარდობის სიდიდით

შესაძლებელია მსჯელობა ორგანული ნივთიერებების ბუნებაზე. თუ იგი 40%-ს აღემატება, მაშინ ჭარბობს შუფერილი ჰუმუსური ნივთიერებები. ხოლო თუ 40%-ზე ნაკლებია, მაშინ ორგანული ნივთიერება შედგება ახლად წარმოქმნილი ნაერთებისაგან.

ორგანულ ნახშირბადთან ბიქრომატული დამყანველობის შუფარდებით განისაზღვრება ორგანული ნივთიერებების დაჟანგვის ხარისხი, რომელიც არაპირდაპირ განსაზღვრავს მათ ქიმიურ ბუნებასა და წარმოქმნას.

დამყანველის ბუნების მიხედვით არჩევენ პერმანგანატომეტრიულ, ბიქრომატულ, ცერიუმურ დამყანველობას. უფრო მაღალი დაჟანგვის ხარისხი მიიღწევა ბიქრომატული და იოდატური დამყანველობით. უფრო გავრცელებულია მყავა არეში პერმანგანომეტრიული დამყანველობისა და ბიქრომატული დამყანველობის მეთოდები. აქედან ორგანული ნივთიერებების რაოდენობის უფრო ზუსტი მონაცემები მიიღება ბიქრომატული დამყანველობის მეთოდით.

### სინჯის აღება. დამუშავება და შენახვა

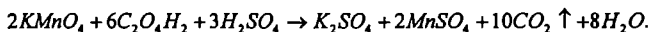
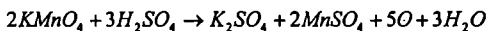
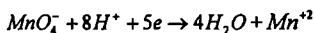
ანალიზი ტარდება ახლად აღებულ სინჯში. თუ ეს შეუძლებელია, მაშინ სინჯს აკონსერვებენ გოგირდმყავას ხსნარით (1:3): 1 ლიტრ სინჯზე უმატებენ 1 მლ  $H_2SO_4$ . დაკონსერვებულ სინჯს ინახავენ  $3-5^{\circ}C$  ტემპერატურაზე დღე-ღამის განმავლობაში.

ხსნადი ორგანული ნივთიერებების დამყანველობის განსაზღვრავად ახლად აღებულ სინჯს დაკონსერვების წინ ფილტრავენ 0,45  $\mu$  მემბრანული ფილტრით.

## დამყანველობის განსაზღვრა პერმანგანატული მეთოდით მშაპა არეში

### მეთოდის არსი

დაჟანგვა მიმდინარეობს კალიუმის პერმანგანატის ხსნარით გოგირდმყავა არეში დუღილისას:



ჭარბი კალიუმის პერმანგანატის დუღილის შემდეგ საზღვრავენ იოდომეტრიულად. ორგანული ნივთიერებების დაჟანგვის ხარისხი დამოკიდებულია დამყანველის კონცენტრაციაზე, ამიტომ სინჯში ორგანულ ნივთიერებათა რაოდენობა უნდა იყოს იმდენი, რომ რეაქციის შედეგად დარჩეს 40% პერმანგანატი. ორგანული ნივთიერების მაღალი კონცენტრაციისას სინჯს ანზავებენ ბიდისტილატით.

3,5 მგ  $O/ლ$  დამფანგველობისას სტანდარტული კვარატული გადახრას ტოლია 4,5% ( $n=19$ ). ცალკეული სინჯის განსაზღვრის ხანგრძლივობაა 1 საათი.

#### ზელისშემშლელი პირობები

განსაზღვრას ზელს უშლის ქლორიდები (არ უნდა აღემატებოდეს 30 მგ  $Cl^-/ლ$ ), სულფიდები, ნიტრიტები, ორვალენტური რკინა და სხვა არაორგანული ნივთიერება, რომლებიც ქლორიდების გარდა ზედაპირულ წყლებში არსებობენ უმნიშვნელო რაოდენობით. მათი განსაზღვრა ხდება წინასწარი გატიტვრით კალიუმის პერმანგანატით მყავა არეში ციე პირობებში, რისთვისაც 250 მლ მოცულობის კონუსურ კოლბაში ასხავენ 100 მლ საკვლევ წყალს, უმატებენ 10 მლ 0,01 ნ პერმანგანატის ხსნარს, 5 მლ  $H_2SO_4$  (1:3), 0,5 გრ კალიუმის იოდიდს და ტიტრავენ 0,01 ნ თიოსულფატის ხსნარით ღია ყვითელ შეფერვამდე, უმატებენ 1 მლ სახამებლის ხსნარს და აგრძელებენ გატიტვრას ღურჯი შეფერილობის გაქრობამდე. გატიტვრაზე დახარჯული თიოსულფატის ხსნარის მოცულობას მხედველობაში იღებენ ანგარიშისას. თუ ზემოთ ჩამოთვლილი ინგრედიენტების რაოდენობა ნაკლებია 0,1 მგ/ლ, მაშინ მათი თანაობა მხედველობაში არ მიიღება.

#### ანალიზის მსვლელობა

100 მლ საკვლევ ხსნარში ვათავსებთ 2-3 კაპილარს (ან ბურთულებს) უმატებენ 5 მლ  $H_2SO_4$  (1:3), უმატებენ 10 მლ 0,01 ნ  $KMO_4$ -ის ხსნარს, აცხელებენ, 5 წუთის შემდეგ როდესაც აღულებდა აღულებენ 10 წთ-ს, ცხელ ხსნარს უმატებენ 10 მლ 0,01 ნ მჟაუნმჟავას ხსნარს. გაუფერულებულ ცხელ ხსნარს (80-90°C-ზე), ტიტრავენ 0,01 ნ  $KMnO_4$ -ის ხსნარით ღია ვარდისფერ შეფერილობამდე. გატიტვრის დროს ნარევის ტემპერატურა არ უნდა შემცირდეს 80°C-ზე ქვევით, დახარჯული  $KMnO_4$ -ის რაოდენობას ითვლიან 0,05 მლ სიზუსტით. თუ დუდილისას ხსნარი გაუფერულდება ან გაყავისფრდება განსაზღვრას იმეორებენ სინჯის განზავებით. იმეორებენ მაშინაც, როდესაც დახარჯული პერმანგანატი მეტია დამატებული რაოდენობის 60%-ზე ე.ი. გატიტვრაზე დახარჯულ მოცულობას აღემატება 12 მლ-ით.

განზავებული სინჯის გატიტვრისას დამატებული პერმანგანატის რაოდენობის 20%-ზე ნაკლები არ უნდა დაიხარჯოს ( $\approx 4$  მლ).

საკონტროლო სინჯისას იღებენ 100 მლ განზავებულ ხსნარს და ამუშავენ ისე როგორც ზეითაა აღნიშნული. 0,01 ნ  $KMnO_4$ -ის ხარჯი არ უნდა აღემატებოდეს 0,2 მლ.

## ანგარიში

დამჟანგველობა (კუბელის მიხედვით) გამოითვლება ფორმულით

$$x = \frac{(a-b) \cdot K \cdot 0,01 \cdot 8 \cdot 1000}{V} = \frac{(a-b) \cdot K \cdot 80}{V} \text{ მგ } O/\text{ლ},$$

სადაც  $a$  – სინჯის გატიტვრაზე დახარჯული  $0,01$  ნ  $KMnO_4$  რაოდენობა, მლ.

$b$  – საკონტროლო სინჯის გატიტვრაზე დახარჯული  $0,01$  ნ რაოდენობა, მლ;

$K$  –  $0,01$  ნ  $KMnO_4$ -ის ნორმალბობის შესწორების კოეფიციენტი;

$V$  – საანალიზო სინჯის მოცულობა, მლ.

თუ  $KMnO_4$ -ის ტიტრის შესწორების კოეფიციენტი  $0,995-1,005$ -მდეა, მაშინ, გათვლებისას არ მიიღება მხედველობაში. შედეგებს ამრგვალებენ  $0,1$  მგ-მდე სიზუსტით, როდესაც დამჟანგველობის მნიშვნელობაა  $0-10$  მგ  $O/\text{ლ}$  და  $1$  მგ-მდე, როდესაც დამჟანგველობაა  $10-100$  მგ  $O/\text{ლ}$ .

## აპარატურა

კონუსური კოლბა –  $250$  მლ, მინის ბურთულები ან კაპილარები; მზომი ცილინდრი –  $100$  და  $1000$  სმ<sup>3</sup>; მზომი აპარატი –  $5$  სმ<sup>3</sup>; ბიურეტი.

## რეაქტივები

1. გოგირდმჟავა ( $H_2SO_4$ ), ქიმიურად სუფთა ანალიზისათვის, განზ. ხსნარი  $1:3$ .  $95\%$ -იან გოგირდმჟავის  $1$  მოცულობას უმატებენ  $3$  მოცულობა დისტილირებულ წყალს. ანალიზის წინ მიღებულ ხსნარს  $40^\circ C$ -ზე უმატებენ  $0,01$  ნ პერმანგანატის ხსნარს ღია ვარდისფერ შეფერვამდე.

2. მჟაუნმჟავა, (ქიმიურად სუფთა ანალიზისათვის) –  $0,1$  ნ ძირითადი ხსნარი.  $6,30$  გრ მჟაუნმჟავას ( $(COOH)_2 \cdot 2H_2O$ ) ხსნიან განზავებულ ( $1:15$ ) გოგირდმჟავით და მიყავთ მოცულობა  $20^\circ C$ -ზე  $1$  ლ-მდე. ხსნარი ინახება მუქ ჭურჭელში ნახევარი წლის განმავლობაში. ხსნარი ასევე შეიძლება მომზადდეს:  $0,6304$  გრ მჟაუნმჟავას წონაკს ხსნიან გამოხდლ წყალში, რომელიც შემთავებულია გოგირდმჟავით ( $1:3$ ) და ხსნარის მოცულობა მიყავთ  $1$  ლიტრამდე გამოხდლი წყლით.

3. მჟაუნმჟავა  $0,01$  ნ ხსნარი –  $100$  მლ  $0,1$  ნ მჟაუნმჟავას ძირითად ხსნარს ანზავებენ  $1$  ლ-მდე გოგირდმჟავით ( $1:15$ ).

4.  $KMnO_4$   $0,1$  ნ ძირითადი ხსნარი.

$3,2$  გრ  $KMnO_4$ -ს ხსნიან  $1$  ლ გამოხდლი წყლით. ინახავენ მუქ ჭურჭელში  $2-3$  თვის განმავლობაში.

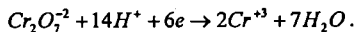
## 5. $KMnO_4$ 0,01 ნ ხსნარი.

1 ლ მზომ კოლბაში იღებენ 100 მლ  $KMnO_4$ -ის ძირითად ხსნარს და მოცულობა მიყავთ გამოხდილი წყლით ჭედმდე. რამდენიმე დღის დაყოვნების შემდეგ ხსნარის კონცენტრაცია კორექტირება ისე, რომ ტიტრზე შესწორება ტოლი უნდა იყოს I-ის. ამისათვის დამჟანგველობის განსასაზღვრავად კოლბაში იღებენ 100 მლ გამოხდილ წყალს, რომელიც არ უნდა შეიცავდეს ნივთიერებებს (შეიძლება გამოყენებულ იქნას განსაზღვრისას გატიტრული ხსნარი), უმატებენ 5 მლ განზავებულ  $H_2SO_4$ -ს (1:3) და 10 მლ 0,01 ნ მჟაუნმჟავას. (გოგირდმჟავას არ უმატებენ, როდესაც იყენებენ სინჯად გატიტრის შემდეგ მიღებულ ხსნარს). ნარევეს აცხელებენ ადუღებამდე ( $80-90^{\circ}C$ ) და ცხელს ტიტრავენ 0,01 ნ  $KMnO_4$ -ის ხსნარით ღია ვარდისფერ შეფერვამდე. გატიტრის შედეგების მიხედვით  $KMnO_4$ -ის კოცენტრაციას აკორექტირებენ ისე, რომ შესწორება იყოს I-ის ტოლი, თუ განსხვავებული იქნება I-ზე  $\pm 0,05$ -ით, შესაბამისად უნდა გაეზარდოს ხსნარის კონცენტრაცია ან განვაზავოთ.  $KMnO_4$ -ის ხსნარის ტიტრი უნდა შემოწმდეს კვირაში ერთხელ. სინჯის განზავებისას გამოყენებულია დისტილირებულ ან ბიდისტილირებული წყალი.

0,01 ნ  $KMnO_4$ -ის ხსნარის ტიტრის შესწორების კოეფიციენტი გამოითვლება ფორმულით:  $K = \frac{10}{V}$ , სადაც  $V$  - 10 მლ 0,01 ნ  $H_2C_2O_4$  ხსნარის გატიტრებაზე დახარჯული 0,01 ნ  $KMnO_4$ -ის ხსნარის მოცულობაა, მლ.

### 1.8. ჟანგბადის ქიმიური მოხმარების (ექმ) განსაზღვრა ბიქრომატული მეთოდით

ექმ-ს განსაზღვრა წარმოების კალიუმის ბიქრომატის დაქანვით მჟავე არეში კატალიზატორის თანაობისას:



ჭარბი კალიუმის ბიქრომატი ემატება წყლის სინჯს და იტიტრება მორის მარილის ხსნარით (რკინა-ამონიუმის შაბი). ამ მეთოდით ისაზღვრება დამჟანგველობა 5-50 მგ/ლ ინტერვალში, 30 მგ  $O_2$ /ლ დამჟანგველობისას სტანდარტული კვადრატული გადახრა  $v$  შეადგენს 8% ( $n=15$ ).

#### ხელისშემშლელი პირობები

ანალიზის მსვლელობას ხელს უშლის არაორგანული აღმდგენელები, ქლორიდები, სულფიდები, ნიტრიტები, რკინა (II) და სხვა არაორგანული ნივთიერებები, რომლებიც იჟანგებიან მჟავე არეში, ქლორიდების გარდა ყველა ამ ნივთიერებას შეიცავს ზედაპირული წყლები

უმნიშვნელო რაოდენობით. მათი რაოდენობის გამოთვლა წინასწარ წარმოებს საკვლევი წყლის გატიტრით: 250 მლ-იან კონუსურ კოლბაში 100 მლ საკვლევ წყალს უმატებენ 10 მლ 0,01 ნ კალიუმის პერმანგანატის ხსნარს, 5 მლ გოგირდმჟავის ხსნარს (1:3), 0,5 გრ კალიუმის იოდიდს და ტიტრავენ 0,01 ნ-ის ნატრიუმის თიოსულფატის ხსნარით ღია ყვითელ შეფერილობამდე. შემდეგ უმატებენ 1 მლ. სახამებლის ხსნარს და აგრძელებენ გატიტრას ლურჯი შეფერილობის გაქრობამდე. გატიტრავზე დახარჯული თიოსულფატის ხსნარის მოცულობას ითვალისწინებენ გათვლებისას. თუ ჩამოთვლილი მინერალური ინგრედიენტების რაოდენობა ნაკლებია 0,1 მგ/ლ მაშინ იგი მხედველობაში არ მიიღება.

ქლორიდების მოცილება ხდება ვერცხლისწყლის (II) სულფატის დამატებით. თუ ქლორიდების კონცენტრაცია ნაკლებია 1 გ/ლ მაშინ 10 მგ ქლორიდებზე იღებენ 0,1 გ  $HgSO_4$ -ს, ხოლო თუ ქლორიდების კონცენტრაცია მეტია 1 გ/ლ-ზე იღებენ ქლორიდების რაოდენობის მე-15-ედ ნაწილ ვერცხლისწყლის სულფატს. ამავე დროს სინჯს უმატებენ 5 მლ კონცენტრირებულ გოგირდმჟავას ვერცხლისწყლის (II) სულფატის გასახსნელად.

#### ანალიზის მსვლელობა

20 მლ საკვლევი წყლის სინჯს (ნაკლები მოცულობისას სინჯი მიყავთ 20 მლ-მდე ბიდისტილატით) შლიფიან კოლბაში უმატებენ 10 მლ 0,025 ნ-ის კალიუმის ბიქრომატის ხსნარს, შემდეგ ფრთხილად უმატებენ 30 მლ ვერცხლის სულფატის ხსნარს კონცენტრირებულ გოგირდმჟავა არეში. თანაბარი დუღილისათვის წყალში ყრიან 2-3 მინის კაპილარს, კოლბას აერთებენ უკუმაცივართან და ნარევეს ადუღებენ 2 სთ განმავლობაში. გაციების შემდეგ ხსნარს ხსნიან მაცივარს, რეცხავენ მის კედლებს 25 მლ ბიდისტილატით.

კოლბიდან ხსნარი გადააქვთ მეორე 750 მლ-იან კონუსურ კოლბაში. კოლბის კედლებსაც ასევე რეცხავენ 100 მლ ბიდისტილატით და უმატებენ მეორე კოლბას, ნარევეს კვლავ აციებენ, შემდეგ იმატებენ 15 წვეთ ინდიკატორის ხსნარს. რეაქციაში შეუსვლელ კალიუმის ბიქრომატს ტიტრავენ მორის მარილით მოწითაო-მოლურჯო შეფერილობიდან მოლურჯო-მომწვანო შეფერილობამდე. ხსნარს ენერგიულად ანჯღრევენ. ასევე ანზორციელებენ შესადარებელი ხსნარის განსაზღვრას (ანუ ფუჭ ცდას).

#### ანგარიში

ბიქრომატული დაუნჯვის სიდიდე მგ  $O/l$ -ზე განისაზღვრება ფორმულით:

$$x = \frac{(n_1 - n_2)8 \cdot N \cdot 1000}{V}$$

სადაც  $n$  – შესადარებელი ხსნარის (ფუჭი სინჯის) გატიტრებაზე დახარჯული მორის მარილის რაოდენობაა, მლ.

$m_2$  – საანალიზო წყლის სინჯის გატიტრებაზე დახარჯული მორის მარილის რაოდენობა, მლ,

$N$  – მორის მარილის ხსნარის ნორმალობაა.

$V$  – საანალიზო წყლის სინჯის მოცულობაა, მლ.

### რეაქტივები

1. ორჯერ გამოხდილი წყალი;
2. კალიუმის ბიქრომატის ხსნარი,  $K_2Cr_2O_7$  კიმიურად სუფთა 0,25 გ.  
105°C-ზე 2 საათის განმავლობაში წინასწარ გამოშრალ 12,258 გრ კალიუმის ბიქრომატს ხსნიან ბიდისტილატში და მოცულობა მიჰყავთ 1 ლ-მდე.
3. კალიუმის ბიქრომატის ხსნარი, 0,025 ნ-ის.  
100 მლ 0,25 ნ-ის კალიუმის ბიქრომატის ხსნარს ანზავენ ბიდისტილატით 1 ლ-მდე.
4. მორის მარილის ხსნარი  $FeSO_4(NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O$ , სუფთა 0,25 ნორმალობის.  
98 გრ მორის მარილს ხსნიან ბიდისტილატში, უმატებენ 20 მლ კონცენტრირებულ გოგირდმჟავას, ხსნარს აციებენ და ბიდისტილატით მოცულობა მიჰყავთ 1 ლ-მდე.
5. მორის მარილის ხსნარი – 0,025 ნ-ის 100 მლ 0,25 მლ-ის მორის მარილის ხსნარს ანზავენ ბიდისტილატით 1 ლ-მდე.  
მორის მარილის ხსნარის ნორმალობის დასადგენად 750 მლ-იან კონუსურ კოლაში 25 მლ 0,025 ნორმალობის კალიუმის ბიქრომატის ხსნარს უმატებენ 175 მლ ბიდისტილატს, 15 მლ გოგირდმჟავის ხსნარს (1:1), მიღებულ ნარევს აციებენ და უმატებენ 15 წვეთ ფენილანტრანოლის მჟავას და ტიტრავენ 0,025 ნ-ის მორის მარილის ხსნარით მოწითალო-იისფერი შეფერილობიდან მომწვანო შეფერილობაში გადასვლამდე.
6. ვერცხლის სულფატის ხსნარი კონცენტრირებულ მჟავა არეში,  $Ag_2SO_4$  კიმიურად სუფთა ანალიზისათვის. 13 გრ ვერცხლის სულფატის ხსნარს ხსნიან 1 ლ კონცენტრირებულ გოგირდმჟავაში.
7. გოგირდმჟავა კონცენტრირებული „კიმიურად სუფთა“.
8. გოგირდმჟავის ხსნარი (1:1).
9. ვერცხლისწყლის სულფატი, კიმიურად სუფთა ანალიზისათვის ( $HgSO_4$ ).
10.  $N$ -ფენილანტრალინის მჟავა. 0,25 გრ  $N$ -ფენილანტრალინის მჟავას ხსნიან 12 მლ 0,1  $N$  ნატრიუმის ტუტეში და ანზავენ ბიდისტილატით 250 მლ-მდე.

11. კალიუმის პერმანგანატის ხსნარი – 0,01N-0,1N კალიუმის პერმანგანატის დამზადება (ქიმ. სუფთ. ანალიზ.): 3,2 გრ კალიუმის პერმანგანატს ხსნიან 1 ლ გამოხდილ წყალში და ხსნარს ინახავენ მუქ ჭურჭელში. ხსნარი საანალიზოდ გამოსადეგია მომზადებიდან 15-20 დღის შემდეგ. 0,01 N კალიუმის პერმანგანატის ხსნარის დასამზადებლად იღებენ 100 მლ 0,1N კალიუმის პერმანგანატის ხსნარს შზომ კოლბაში და ანახავენ გამოხდილი წყლით 1 ლ-მდე. ხსნარს ინახავენ მუქ ჭურჭელში. რამდენიმე დღის შემდეგ ადგენენ ხსნარის ნორმალობას. ამისათვის 250 მლ-იან კონუსურ კოლბაში 100 მლ ბიდისტილატს უმატებენ 10 მლ 0,01 N-ის კალიუმის პერმანგანატის ხსნარს, 5 მლ გოგირდმჟავას (1:3), 0,5 გ კალიუმის იოდიდს და ტიტრაცენ 0,01N თიოსულფატის ხსნარით ღია ყვითელ შეფერილობამდე. შემდეგ უმატებენ სახამებლის ხსნარს და აგრძელებენ გატიტრებას მოლურჯო შეფერილობამდე.
12. ნატრიუმის ტუტის ხსნარი (ქიმ. სუფთა ანალიზ.), 0,1 N, 0,1 გრ ნატრიუმის ტუტეს ხსნიან 25 მლ ბიდისტილატში.

### 1.9. სიხისტის განსაზღვრა

წყლის საერთო სიხისტე განისაზღვრება ტუტემიწათა მეტალების ორვალენტიანი კათიონების – კალციუმისა და მაგნიუმის კონცენტრაციით. ბუნებრივ პირობებში ეს ელემენტები წარმოიქმნება კარბონატულ მინარეგებზე ნახშირმჟავას მოქმედებით, ან ტენიან ნიადაგის ფენებში მიმდინარე ბიოქიმიური პროცესების შედეგად. ბუნებრივი წყლის სიხისტე იცვლება სასმელად გამოყენებისას წყლის მომზადების პროცესისას და ჩამდინარე წყლის გაწმენდის პროცესების დროს. კალციუმის და მაგნიუმის რაოდენობის ეკვივალენტურ კარბონატებისა და ჰიდროკარბონატების რაოდენობას უწოდებენ კარბონატულ სიხისტეს. არაკარბონატული სიხისტე განისაზღვრება საერთო და კარბონატულ სიხისტეთა სხვაობით, რომელითაც განისაზღვრება მინერალური მჟავების ანიონების, ქლორიდ-, სულფატ-, ნიტრატ-იონებისა და სხვათა შესაბამის ტუტემიწათა მეტალთა კათიონების რაოდენობა. სასმელი, მიწისქვეშა, ზედაპირული და ჩამდინარე წყლების საერთო სიხისტე განისაზღვრება კომპლექსონომეტრიული მეთოდით, ხოლო კარბონატული და არაკარბონატული სიხისტე კი გამოითვლება წყლის საერთო სიხისტისა და ტუტიანობის სიდიდეების გამოყენებით. სიხისტე გამოისახება მგ-ექვ/ლ-ში, ან სიხისტის გერმანულ გრადუსებში ( $^{\circ}\text{H}$ ) და სხვა ერთეულებით, რომელიც მოცემულია 6 ცხრილში.

წყლის სიხისტე იცვლება ფართო ზღვრებში. თუ წყლის სიხისტე ნაკლებია 4 მგ-ექვ/ლ-ზე წყალი რბილია, ხოლო როდესაც სიხისტე ტოლია 4-8 მგ-ექვ/ლ – საშუალო სიხისტის, 8-12 მგ-ექვ/ლ – ხისტი, ხოლო თუ 12 მგ-ექვ/ლ-ზე მეტია – ძალიან ხისტი.



კალციუმისა და მაგნიუმის ჰიდროკარბონატები დუღილისას იშლება:



ამიტომ წყალი ნაწილობრივ კარგავს სიხისტეს.

ცხრილი 5

1) წყლის სიხისტის გადათვლა

სიხისტის ერთეული	მგ-გ/კვ/ლ	°H (10 მგ CaO/ლ)	°ფ (10 მგ CaCO <sub>3</sub> /ლ)	°H (1 გრ CaCO <sub>3</sub> /გალონი)	lppm(1 მგ CaCO <sub>3</sub> /კგ)
1 მგ-გ/კვ/ლ	1	2,8	5,0	3,5	50
1°H (გერმანული)	0,557	1	1,79	1,25	17,9
1°ფ (გრანგული)	0,20	0,56	1	0,7	10
1°A (ინგლისური)	0,286	0,8	1,43	1	14,3
lppm	0,02	0,056	0,1	0,07	1

1) მოცემული სიდიდეები მიეკუთვნება ერთს ტოლს, ან ერთთან მიახლოებულ წყლის სიმკვრივეს.

წყლის საერთო სიხისტე ГОСТ 2874-82 „სასმელი წყლის“ მიხედვით არ უნდა აღემატებოდეს 7 მგ-გ/კვ/დმ<sup>3</sup>, ხოლო წყალსადენისათვის, სადაც წყალი სპეციალური დამუშავების გარეშე ჩაედინება „СЭС“ ორგანიზებთან შეთანხმებით დასაშვებია 10 მგ-გ/კვ/დმ<sup>3</sup>. ძალიან ხისტ წყალს აქვს არასასიამოვნო გემო.

ზედაპირულ წყლებში სიხისტე იცვლება სეზონური ცვლილებების მიხედვით. მნიშვნელოვან რაოდენობას აღწევს ზამთრის დასასრულს, ხოლო მინიმალურია წყალმოვარდნის პერიოდში. მიწისქვეშა წყლების სიხისტე უფრო მუდმივია.

სიხისტის განსაზღვრა კომპლექსონომეტრიული მეთოდით

წყალში ნატრიუმის ეთილენდიამინ-ტეტრააცეტატი. pH=10 დროს წარმოქმნის მდგრად კომპლექსურ ნაერთებს თავდაპირველად კალციუმის იონებთან, ხოლო შემდეგ მაგნიუმის იონებთან. ერიოქრომ შავი T მაგნიუმის იონებთან წარმოქმნის ალუბლისფერ-წითელ კომპლექსურ ნაერთებს. ასეთი ხსნარის გატიტრით კომპლექსონ (III)-ით კალციუმის და მაგნიუმის იონებთან შეერთებისას აძეგებს ინდიკატორს, რომელსაც თავისუფალ მდგომარეობაში აქვს ლურჯი შეფერვა. ანალიზის ზუსტი ჩატარებისას გასატიტრი ხსნარის pH=10±0,2, რომელიც შეიცავს საკმარის რაოდენობის მაგნიუმის იონებს.

## ზელისშემუღველი პირობები:

თუ სინჯის აღებიდან მისი დამუშავების დრომდე გამოიყო კალციუმის კარბონატი და შენჯღრევისას არ გაიხსნა უმატებენ 2 მლ განზავებულ მარილმჟავას (1:5). ინდიკატორის არასრული შეფერილობის მიღება დამოკიდებულია სინჯის არასრულ განზავებაზე ან მეტალების თანაობაზე, რომელთა კომპლექსური ნაერთები ინდიკატორის გამოყენებისას უფრო მდგრადია, ვიდრე კომპლექსონ (III)-ით. განსაზღვრავს ზელს უშლის ალუმინის (რომელიც მეტია 10 მგ/ლ-ზე), რკინის (რომელიც მეტია 5 მგ/ლ), კობალტის (რომელიც მეტია 0,1 მგ/ლ), სპილენძის (რომელიც მეტია 0,05 მგ/ლ) და მანგანუმის (II) (რომელიც მეტია 0,05 მგ/ლ) თანაობა, სხვა კათიონები, როგორცაა ტყვია, კადმიუმი, მანგანუმი, ცინკი, ბარიუმი, სტრონციუმი, იტიტრება კალციუმთან და მაგნიუმთან ერთად და ამიტომ იზრდება კომპლექსონის ხსნარის ხარჯი. კომპლექსონომეტრიული გატიტრებისას იმ სხვა კათიონების გავლენის ასაცილებლად, რომლებიც უკავშირდებიან ინდიკატორს და ზრდიან რეაქტივის ხარჯს გამოიყენება ტრიეთანოლამინის, ჰიდროქსილამინის, კალიუმის, სულფიდისა და ციანიდის ნარევი: 100 მლ სინჯს უმატებენ 0,1 ნ  $HCl$  ხსნარს ნეიტრალურ რეაქციამდე, შემდეგ უმატებენ 10 მლ 30%-იან ტრიეთანოლამინის ხსნარს, 0,1 გრ მყარ  $KCN$ , 0,1 გრ მყარ ჰიდროქსილამინჰიდროქლორიდს, 5 წვეთს 10% კალიუმის სულფიდის ხსნარს და ბუფერულ ხსნარს. ანალიზს ატარებენ ისევე როგორც მეთოდის საანალიზო მსვლელობაში. მაღალი კონცენტრაციის ნახშირბადის ორჟანგი ზელს უშლის განსაზღვრავს, რადგან ბუფერული ხსნარის მიმატებისას და შემდგომი გატიტრებისას გამოიყოფა კარბონატები, რომლებიც გატიტრის დამთავრებისას თანდათან იხსნებიან. ასეთ შემთხვევაში სინჯს ამჟავებენ და აღულებენ  $CO_2$ -ის მოცილებაზე. დიდი რაოდენობის უხსნადი და კოლოიდური ნივთიერებები ასევე აფერხებენ განსაზღვრავს. ჩვეულებრივი წყლის სინჯის ანალიზისას საკმარისია გაფილტვრა, ხოლო ძლიერ გაჭუჭყიანებულ ბუნებრივ, ან ჩამდინარე წყლების ანალიზისას კი განსაზღვრული რაოდენობის გაფილტრული სინჯის ამოშრობითა და გამოწვით აცილებენ ორგანულ ნივთიერებებს. ძლიერ მჟავიან და ძლიერ ტუტეიან წყლის სინჯს განსაზღვრის წინ ანეიტრალებენ.

## რეაქტივები:

1.  $NH_3 + NH_4Cl$ , ბუფერული ხსნარი,  $pH=10$ .

ძირითადი ბუფერული ხსნარი. 54 გრ ამონიუმის ქლორიდს (ქიმ. სუფთა ანალიზ.) ხსნიან 100 მლ გამოხდილ წყალში, უმატებენ 350 მლ კონცენტრირებულ  $NH_3$  ხსნარს (ქიმ. სუფთა ანალიზ.) ნარევის მოცულობა მიჰყავთ 500 მლ-მდე გამოხდილი წყლით.

ა) მაგნიუმის სულფატის ხსნარი. 1,232 გრ  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  (ქიმ. სუფთა ანალიზ.) ხსნიან 80 მლ გამოხდილ წყალში და მოცულობა მიჰყავთ 100 მლ-მდე (0,05M). 50 მლ მომზადებულ  $MgSO_4$  ხსნარს ანზავენ 100 მლ-მდე. უმატებენ 5 მლ ძირითად ბუფერულ ხსნარს და ინდიკატორ ერიოქრომ შავი - T. ნარევეს ტიტრებენ 0,05 ნ კომპლექსონის ხსნარით იისფერიდან ინტენსიურ ლურჯ შეფერილობამდე.

ბ) სამუშაო ბუფერული ხსნარი.

50 მლ მაგნიუმის სულფატის ხსნარს, რომელშიც მაგნიუმი განსაზღვრულია კომპლექსონომეტრიულად, უმატებენ ზუსტად 0,05M კომპლექსონ (III) ხსნარის მეთედ რაოდენობას. მიღებულ ხსნარს ანზავენ 250 მლ-მდე, დარჩენილ ნაწილს კი (490 მლ) უმატებენ ძირითად ბუფერულ ხსნარს და მოცულობა მიჰყავთ გამოხდილი წყლით 1 ლ-მდე. მომზადებული ხსნარის კონცენტრაციას ამოწმებენ შემდეგნაირად: 100 მლ გამოხდილ წყალს უმატებენ პიპეტით 10 მლ სამუშაო ბუფერულ ხსნარს, ერიოქრომ შავი - T-ს ნარევეს, ამ დროს წარმოიქმნება ჭუჭყიანი - ლურჯ-იისფერი შეფერილობა, რომელიც ერთი წვეთი 0,05 M კომპლექსონ (III) ხსნარის მიმატებისას გადადის სუფთა ლურჯ შეფერილობაში. თუ იხარჯება კომპლექსონ (III) დიდი მოცულობა, მაშინ ყოველ 10 მლ ბუფერული ხსნარზე უმატებენ 0,03 მლ კომპლექსონს. თუ ინდიკატორის მიმატების შემდეგ წარმოიქმნება ლურჯი შეფერილობა ტიტრებენ 10 მლ სამუშაო ბუფერულ ხსნარს 0,05 M  $MgSO_4$ -ის ხსნარით ლურჯ-იისფერ შეფერილობის წარმოიქმნამდე. ატარებენ რა ანალოგიურ გათვლებს. უმატებენ შესაბამისი რაოდენობის  $MgSO_4$ -ის ხსნარს. ბუფერული ხსნარის საერთო მოცულობას, შემდეგ კიდევ ერთხელ ატარებენ შემოწმებას. თუ იგი დამაკმაყოფილებელია მაშინ კომპლექსონის, ან მაგნიუმის სულფატის შესაბამისი დამატება აღარ ხდება.

2. ერიოქრომ შავი T 0,5 გრ რეაქტივს კარგად ურევენ 100 გრ  $NaCl$  (ქიმ. სუფთა ანალიზ.).

3. კომპლექსონ (III) 0,05 M ხსნარი.

18,6 გრ კომპლექსონ (III) (ქიმ. სუფთა ანალიზ.) ხსნიან გამოხდილ წყალში და მოცულობა მიჰყავთ 1 ლ-მდე. ხსნარის მოლარობის შესწორების კოეფიციენტს საზღვრებენ შემდეგნაირად: კოლბაში 20 მგ კალციუმის შემცველ სინჯის მოცულობა მიჰყავთ 150 მლ-მდე გამოხდილი წყლით. მჟავე არისას ანზავენ 0,1 ნ  $NaOH$  ხსნარით, რომელიც ექვივალენტურია სინჯის მჟავიანობისა. თუ სინჯის ტუტიანობა აღემატება 5 მგ-ექვ/ლ-ს, უმატებენ 0,1 ნ მარილმჟავას ხსნარის ექვივალენტურ რაოდენობას, ადულებენ 3 წთ-ის განმავლობაში და აციებენ. შემდეგ უმატებენ 2 მლ 5 ნ  $KOH$  ხსნარს, ინდიკატორს ინტენსიურ მწვანე შეფერილობის მიღებამდე და ტიტრებენ 0,05 M კომპლექსონ (III)-ით ვარდისფერ-იისფერ შეფერილობამდე.

4. მარილმჟავა (ქიმ. სუფთა ანალიზ.) 0,1 ნ ხსნარი. 8,5 მლ კონც.  $HCl$ -ის ანზავენ 1 მლ-მდე გამოხდილი წყლით. ხსნარის შესწორების კოეფიციენტს საზღვრავენ 0,1 ნ  $Na_2CO_3$ -ის ხსნარით. 5.3002 გრ  $Na_2CO_3$  (ქიმ. სუფთა ანალიზ.) აშრობენ  $270-300^{\circ}C$ -ზე, ხსნიან  $20^{\circ}C$ -ზე და მოცულობა მიჰყავთ 1 ლ-მდე ახლად ადუღებული და გაციებული გამოხდილი წყლით. იღებენ 20 მლ ხსნარს, ანზავენ 100 მლ-მდე ადუღებული გამოხდილი წყლით და ტიტრავენ 0,1 ნ მარილმჟავათი (მზედველობაში მიღებული უნდა იქნას პერის შებერვა). მჟავის შესწორების კოეფიციენტი ტოლი უნდა იყო 0,99-1,01-ის.

5. შერეული ინდიკატორი - ბრომკრეზოლ-მწვანე+მეთილ-წითელი. 0,200 გრ ბრომკრეზოლ-მწვანეს ხსნიან 100 მლ 96%-იან ეთილის სპირტში. 0,015 გრ მეთილ-წითელს ხსნიან 50 მლ 96%-იან ეთილის სპირტში. ორივე ხსნარს შერევენ და ინახავენ მუქ ჭურჭელში.

#### ანალიზის მსეულელობა

100 მლ საკვლევი წყლის სინჯს, რომლის სიხისტვა 1-10 მგ/ლ-ზე, უმატებენ 0,1 ნ-ის მარილმჟავას საჭირო მოცულობის ტუტიანობის მოსაცილებლად. შემდეგ უმატებენ 10 მლ სამუშაო ბუფერულ ხსნარს. ამის შემდეგ ხსნარს ინტენსიურად ურევენ და უმატებენ ბუფერულ ხსნარს, ამის შემდეგ ხსნარს ინტენსიურად ურევენ და უმატებენ მშრალ ინდიკატორის ნარეუს იმ რაოდენობით, რომელიც საჭიროა ხსნარის ალუბლის-ისფერ შეფერილობამდე გადასვლისათვის, შემდეგ ტიტრავენ 0,05 M კომპლექსონ (III)-ით თავდაპირველ მკვეთრ ისფერ გადასვლამდე. თუ შეფერილობის შეცვლა მკვეთრი არ არის მაშინ განსაზღვრავს იმეორებენ იმ მეთოდით, რომელიც მოცემულია „ხელისშემშლელ პირობები“-ს განყოფილებაში, ან იღებენ მცირე 100-150 მლ-მდე განზავენულ მცირე მოცულობის სინჯს.

#### ანგარიში

საერთო სიხისტე მგ-ექვ/ლ-ში განისაზღვრება ფორმულით

$$X = \frac{a \cdot k \cdot 2 \cdot 0,05 \cdot 1000}{V} = \frac{a \cdot k \cdot 100}{V},$$

სადაც  $a$  - გატიტრებაზე დახარჯულია 0,05 M კომპლექსონის ხსნარის მოცულობაა, მლ.

$k$  - 0,05 M კომპლექსონ (III)-ის ხსნარის შესწორების კოეფიციენტი;

2 - სიხისტის გრამ-ექვივალენტების რიცხვია, რომელიც შეესაბამება 1 მოლ კომპლექსონ (III);

$V$  - საკვლევი სინჯის მოცულობაა, მლ.

წყლის კარბონატული და არაკარბონატული სიხისტის ანგარიში

კარბონატული სიხისტის განსაზღვრისათვის გამოიყენება ტუტინანობის განსაზღვრის შედეგები. სინჯებში, რომლებიც შეიცავენ ტუტემეტალების კათიონების დიდ რაოდენობას და აგრეთვე რომლებშიც ჰიდრიკარბონატებისა და კარბონატების ნაწილი იონები ბმულია ამ მეტალებთან, ტუტინანობის მიხედვით გამოთვლილი სიდიდე არ შეესაბამება კარბონატულ სიხისტეს. ასეთ შემთხვევაში საზღვრავენ მხოლოდ საერთო სიხისტეს.

თუ წყლის ტუტინანობა გამოწვეულია არამარტო  $HCO^-$  და  $CO_3^{2-}$  იონებით, არამედ სხვა მცირედ დისოცირებადი შეყვების ანიონებითაც ანგარიშისას მიიღება ამ ნივთიერების კონცენტრაციის პროპორციონალური სიდიდის ცდომილება.

თუ კარბონატული სიხისტე (მგ-ექვ/ლ-ში) ტოლია  $m$ -ის, მაშინ კარბონატული სიხისტე ( $^{\circ}H$ -ში) კი იქნება  $2,8m$ -ის (სადაც  $m$ -საერთო ტუტინანობაა მგ-ექვ/ლ-ში) არაკარბონატული სიხისტე განისაზღვრება საერთო სიხისტისა და კარბონატული სიხისტის სხვაობით.

1.10. აზოტოვანი მარილების წარმოების ჩამდინარე წყლის გაწმენდა ელექტროდიალიზის მეთოდით იონგაცვლითი მემბრანების გამოყენებით

ელექტროდიალიზის მეთოდი წარმოადგენს მემბრანულ პროცესს, რომელიც დაფუძნებულია ელექტროლიტის იონების გადატანაზე ელექტრული დენით სელექტიური იონგაცვლითი მემბრანების გამოყენებით. ელექტროლიტის ხსნართან შეხებისას მემბრანა შეიცავს მრავალ მოძრავ საწინააღმდეგო იონებს და მცირე მოძრავ კათიონებს, ამიტომ მემბრანა ატარებს საწინააღმდეგო იონებს ერთი ხსნარიდან მეორეში, ამავე დროს კათიონები პრაქტიკულად მემბრანის ფაზიდან გამოთიშული არიან და შესაბამისად არ შეუძლიათ მემბრანის გავლით დიფუნდირება. თუ სისტემა იმყოფება ელექტრულ ველში, ელექტრული დენი მემბრანის გავლით გატარდება საწინააღმდეგო იონებით. ამგვარად, მემბრანა სელექტიურად გამტარია საწინააღმდეგო იონებისათვის, მემბრანაში შედწევა შეუძლია მხოლოდ განსაზღვრული ნიშნის მქონე იონებს.

მემბრანაში გატარებულ იონების კონცენტრაციასა და დიალიზის პროცესის პირობებს შორის დამოკიდებულება გამოისახება ფორმულით:

$$I = \frac{(C_0 - C_1) \nu \cdot F}{n \eta}$$

სადაც  $I$  – არის დენის ძალა, ა;

$C_0 - C_1$  არის საწყისი და გაწმენდილი ხსნარის კონცენტრაცია, გ/ლ;

$F$  – ფარადის რიცხვი, 26,8 ა. სთ/გრ – ექვ;

$\eta$  – გამოსავალი დენის მიხედვით;

$v$  – ხსნარის მიწოდების სიჩქარე, მ<sup>3</sup>/სთ ან ლ/სთ.

ელექტროდიალიზი იონგაცვლითი მემბრანების გამოყენებით ფართოდ არის დანერგილი ჩამდინარე, ბუნებრივი, მლაშე წყლების გადამუშავების ტექნოლოგიაში. ძვირფასი კომპონენტების რეგენერაცია ხდება სამრეწველო ჩამდინარე წყლებიდან ელექტროდიალიზით. აზოტოვანი მინერალური სასუქების ჩამდინარე წყლების გაწმენდისა და მარილების უტილიზაციის ტექნოლოგიური რეჟიმი შემუშავებულია ელექტროდიალიზის მეთოდით იონგაცვლითი მემბრანების გამოყენებით. გამოიყენება MA-40 და MK-40 ტიპის იონგაცვლითი მემბრანა. წინასწარ შესწავლილი იქნა მემბრანის ქიმიური მდგრადობა საკვლევ არეებში. ქიმიური მდგრადობის კრიტერიუმად აღებული იქნა შემდეგი ფიზიკო-ქიმიური მაჩვენებლები: სრული გაცვლითი ტევადობა (სგტ), გაჯირჯევა, ხვედრითი ელექტრო გამტარებლობა, სელექტიურობა. მიღებული შედეგებით (რომელიც მოცემულია მე-6 ცხრილში) დადგენილია MA-40 და MK-40 მემბრანების ვარგისიანობა აზოტოვანი მინერალური მარილების წარმოების ჩამდინარე წყლის გასაწმენდად. მემბრანის ჩამდინარე წყალთან 42 დღიანი კონტაქტის შედეგად მისი ფიზიკო-ქიმიურად მაჩვენებლები პრაქტიკულად არ იცვლება.

### ელექტროდიალიზატორის „Родник-3“ დახასიათება

ელექტროდიალიზატორი „Родник-3“ წარმოადგენს ფილტრ წნეხის ტიპის შეპკრებს, რომელიც შეიცავს დიდი რაოდენობით თანმიმდევრულად განლაგებულ გამწმენდ და მაკონცენტრირებელ კამერებს. ეს კამერები გამოყოფილია ერთმანეთისაგან თანმიმდევრობით განლაგებული MK-40 და MA-40 მარკის კათიონური და ანიონური ჰეტეროგენული მემბრანებით. განაპირა კამერებში მოთავსებულია ელექტროდები. ელექტროდები დამზადებულია ტიტანის ფურცლებისაგან, რომლის სამუშაო ზედაპირი დაფარულია I მკ სისქის პლატინის ფენით. მთელ ელექტროდიალიზატორში გადის მუდმივი ელექტრული დენი. გამწმენდ და მაკონცენტრირებელ კამერებში უწყვეტად პარალელური ნაკადებით გაედინება დიალიზატი და მარილხსნარი გამანაწილებელი და შეპკრები კოლექტორების საშუალებით.

ელექტრული ველის გავლენა კათიონები გამწმენდი კამერიდან მიედინებიან კათოდისაკენ, გაივლიან რა კათიონიტურ მემბრანებს და შეკავშირდებიან ანიონიტურ მემბრანებზე. ხოლო ანიონები კი გაივლიან ანიონიტურ მემბრანებს და შეკავდებიან კათიონიტურ მემბრანებზე და მიემართებიან ანოდისაკენ. ამ პროცესების შედეგად გამწმენდ კამერებში ხსნარი ღარიბდება

იონებით, ხოლო მაკონცენტრირებულ კამერებში იონების კონცენტრაცია იზრდება. ელექტროდენზე მიმდინარეობს ელექტროლიზური პროცესები, რომელსაც თან ახლავს თავისუფალი აირების გამოყოფაც.

ელექტროდიალიზატორის შემადგენელი ელემენტების  
დახასიათება

1. ელექტროდიალიზატორში თანმიმდევრულად განლაგებულია MK-40, MA-40 ანიონიტური და კათიონიტური მემბრანები. იონიტური მემბრანები MK-40 და MA-40 წარმოადგენს იონგამცველ მასალას, რომელსაც აქვს თხელი ღრეკადი ფურცლის ფორმა, რომელიც შეესებულება შემავსებლებით. თითოეულ მემბრანას აქვს ფიქსირებული იონები. MK-40 მუხტის ნიშანია დადებითი, ხოლო MA-40 კი უარყოფითი, ამიტომ ისინი გამტარნი არიან იმ იონებისათვის, რომლებსაც აქვთ საწინააღმდეგო მუხტი და წარმოადგენენ იონსელექტიურს.

ჩამდინარე წყლის ელექტროდიალიზატორული მეთოდით გაწმენდისას გამოყენებულ იონიტურ მემბრანებს უნდა ახასიათებდეთ კომპლექსური თვისებები, რომლებიც უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ პირობებს: მაღალი გაცვლითი ტევადობა, ელექტროქიმიური აქტიურობა, სელექტიურობა, ქიმიური ზემოქმედებისადმი მდგრადობა და გაჯირჯეების დაბალი ხარისხი. MK-40 და MA-40 ტიპის იონური მემბრანების მახასიათებლები მოცემულია ცხრილში.

ცხრილი 6

მახასიათებლები		MK-40	MA-40
1.	სრული გაცვლითი ტევადობა (სგტ) მგ-მქ/გრ	2,8	3,9
2.	გაჯირჯეება, %	118	128
3.	ხვედრითი ელექტრომწარმოებლობა, ომი.სმ	126	443
4.	გადატანის რიცხვი 0,01/0,2N NaCl-ში	0,98	0,95

აპარატის აწყობისას მემბრანებს წინასწარ ასეულებენ წყლით 24-48 სთ განმავლობაში, რის შედეგადაც გაჯირჯეების გამოიცივლიან თავის ხაზობრივ ზომას. გაშრობისას მემბრანების ხაზობრივი ზომები მცირდება. ამიტომ აპარატში ისინი სულ უნდა იმყოფებოდნენ ტენთან მდგომარეობაში. MK-40 და MA-40 მუშაობის ხანგრძლივობაა 2-5 წლამდე.

2. კორპუსის ჩარჩოები გამოიყენება სამუშაო (გამწმენდი და მაკონცენტრირებელი) კამერების შესაქმნელად, მოძრავი ხსნარის თანაბარი განაწილებისა და შეკრებისათვის, ასევე პერმეტიულობისათვის. ჩარჩო განაწილებისა და შეკრებისათვის, ასევე პერმეტიულობისათვის. ჩარჩო დამზადებულია 2 მმ სისქის პოლიპროპილენისაგან.

3. სეპარატორული ბადები გამოიყენება მემბრანების ურთიერთშეხების ასაცილებლად ნაკადების ტურბულიზაციის საჭირო ხარისხის შესაქმნელად, რომელიც აუცილებელია მემბრანების დეპოლარიზაციისათვის. სეპარატორების მასალა ვინილპლასტის კალანდრი.

4. ელექტროდები დამზადებულია ტიტანის ფურცლებისაგან, რომლის სამუშაო ზედაპირი დაფარულია 1 მკ სისქის პლატინის ფენით.

5. მოსაჭერი ფილები დამზადებულია ეპოქსიდით დაფარული მეტალისაგან (მოკლე ჩართვის თავიდან ასაცილებლად). არ ხდება მეტალური დეტალების დამიწება. ქვედა მოსაჭერი ფილა აპარატის ძირისაგან იზოლირდება პლასტმასის მილყელითა და საყელურით.

6. ელექტრული ნაწილი:

ა) დენის გარდამქმნელის დანიშნულებათა ცვლადი დენის მუდმივად გარდაქმნა. სქემის ძირითად ნაწილს შეადგენს ძალური ენტული ბლოკი, იგი წარმოადგენს სამფაზიან, ხიდურ, ნახევრად მართვად სქემას, გამართველს – T-50 ტიროსტორს, რომელიც ჩართულია კათოდთან და ანოდთან. ძალური ენტილური ბლოკის ცვლადი დენის ქსელში ჩართვა ხორციელდება ავტომატური ჩამრთველითა და მაგნიტური გამშვებით. ამ ძალური ნაწილის სქემაში შედის ასევე გამზომი ზელსაწყობი: ვოლტმეტრი, ამპერმეტრი, გარდამქმნელის მაკონტროლებელი საწყისი პარამეტრები.

ბ) სიგნალიზაცია, დაცვა და ბლოკირება.

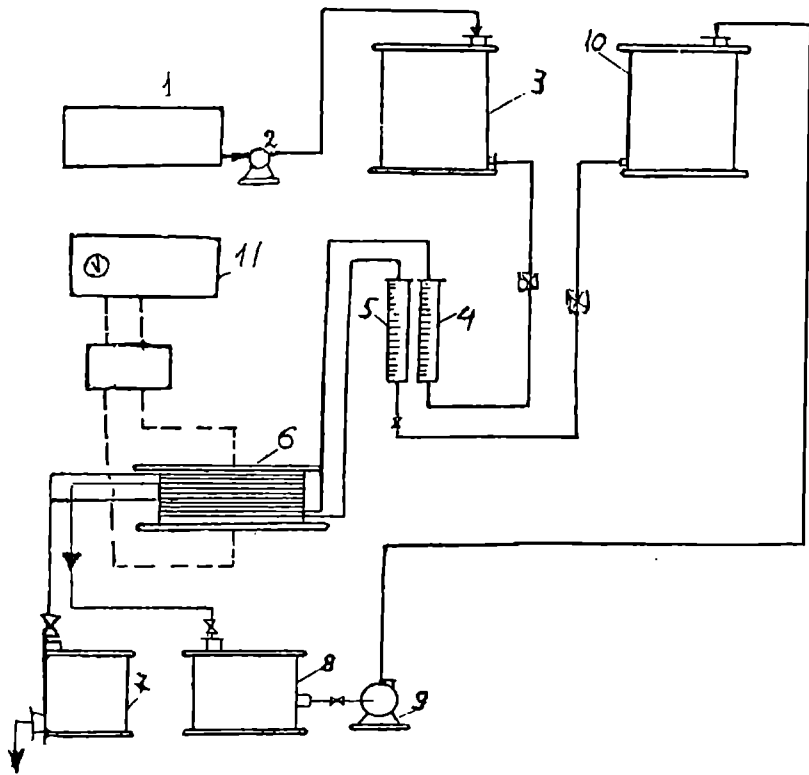
მუშაობის კონტროლი ხორციელდება სიგნალიზაციით, რომელიც ნაჩვენებია:

- გარდამქმნელის მდგომარეობით „ჩართვა“-„გამორთვა“;
- დენი პოლარობით (დატვირთვისას);
- საავარიო მუშაობის რეჟიმით (ზარი).

**ტექნოლოგიური პროცესის აღწერა**

ჩამდინარე წყალი შედის 1 შემკრებში, ხოლო ცირკულაციური წყალი კი 8 შემკრებში. 1 შემკრებიდან მეორე ტუმბოს საშუალებით ჩამდინარე წყალი გადადის 3 საწნეო აუზში. საიდანაც გამოსვლისას იყოფა 2 ნაკადად. პირველი ნაკადი 4 როტამეტრის გავლით 0,8-1,2 მ<sup>3</sup>/სთ-ში სიჩქარით შედის 6 ელექტროდიალიზატორის ქვედა ნაწილში – გამწმენდ კამერაში. 2 ნაკადი 5 როტამეტრის გავლით შედის 6 ელექტროდულ გამრეცხ კამერაში. პირველი ნაკადი თანმიმდევრობით გაივლის გამწმენდ კამერას, გამოდის აპარატის ზედა ნაწილიდან და ჩადის 7 გაწმენდილი წყლის შემკრებში. 8 ცირკულაციური შემკრებიდან 9 ტუმბოს საშუალებით ცირკულაციური წყალი შედის 10 საწნეო აუზში და 5 როტამეტრის გავლით 0,6-0,8 მ<sup>3</sup>/სთ





ნახ. 1. ჩამდინარე წყლის ელექტროლიზური მუდლით გაწმენდის ტექნოლოგიური პროცესების სქემა

სიჩქარით შედის მაკონცენტრირებელი კამერაში. გაივლის რა ყველა კამერას გამოდის აპარატის ზედა ნაწილიდან და შედის ისევ 8 შემკრებში. თანმიმდევრულად განლაგებულ გამწმენდ და მაკონცენტრირებულ კამერებში დიალიზატი (გასაწმენდი წყალი) და მარილხსნარი (კონცენტრატი) უწყვეტი პარალელური დამოუკიდებელი ნაკადის სახით მოძრაობს. ელექტრული დენის გავლენით მიმდინარეობს იონების მიმართული მოძრაობა, რომლის შედეგადაც ხორციელდება ნივთიერების გადატანა გასაწმენდი კამერიდან მაკონცენტრირებულ კამერაში, გამწმენდილი წყალი შედის 7 შემკრებში, ხოლო ცირკულირებადი კი 8 კამერაში, საიდანაც ისევ გადადის ელექტროლიზატორის მაკონცენტრირებულ კამერაში. ცირკულაციის შედეგად

მაკონცენტრირებელი ხსნარის შემკრებში მიიღება 40%-იანი კონცენტრატი, რომელიც შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს წარმოებაში ხელშეორედ. ჩამდინარე წყლის გასაწმენდად გამოიყენება ელექტროდიალიზატორი „Родник-3“, რომლის ელექტრო დენით მომარაგება განხორციელებულია II ელექტრო კვების ბლოკით.

ჩამდინარე წყლის გაწმენდა ლაბორატორიულ პირობებში

3 ლ ჩამდინარე წყალი და 1 ლ ცირკულაციური წყალი საწნეო ავზებიდან შესაბამისად ჩედინებიან და შედიან ელექტროდიალიზატორის ქვედა ნაწილში. ჩამდინარე წყალი გაივლის გამწმენდ კამერებს, აპარატის ზედა ნაწილიდან გამოდის და ჩადის გაწმენდილი წყლის მიმღებში, ხოლო ცირკულაციური წყალი გაივლის მაკონცენტრირებელ კამერებს, შედის შემკრებში, საიდანაც საწნეო ავზის საშუალებით ისევ გადადის ელექტროდიალიზატორის მაკონცენტრირებელ კამერაში. ცირკულაციის შედეგად ხსნარი თანდათან მდიდრდება მინერალური მარილებით. ჩამდინარე და მაკონცენტრირებელ წყლებში გაწმენდამდე და გაწმენდის შემდეგ ისაზღვრება დამაბინძურებელი ნივთიერებათა იონთა შემცველობა.

გაწმენდის ეფექტურობა გამოითვლება ფორმულით:

$$\eta = \frac{(C_{\text{სწ}} - C_{\text{სა}})}{C_{\text{სწ}}} \cdot 100 (\%)$$

**თავი 2. დამცავ დემონსტრაციული დაფარვების სააპაროს  
ბრწყინვალე ქრომის ტექნოლოგიური პროცესის  
შედეგად მიღებული ჩამდინარე წყლის კონტროლი  
და გაფხვინის ტექნოლოგიური პროცესის სემის  
დაგეგმვა ელექტროკოაგულაციის მეთოდის  
გამოყენებით**

გალვანური დაფარვების წარმოებაში წყალი გამოიყენება ელექტროლიტების დასამზადებლად, გაუცხიმოების, პასივაციის, ამოჭმის პროცესებში, ლეტალების გასარეცხად, აბაზანების გასაცივებლად და ა.შ.

გალვანური წარმოების ჩამდინარე წყლები დამაბინძურებელი ნივთიერებების მიხედვით იყოფა: ტუტე, მჟავა, ციანმშემცველ, ქრომმშემცველ და ფტორმშემცველ ჩამდინარე წყლებად.

ქრომმშემცველი ჩამდინარე წყალი წარმოიქმნება ქრომირების, პასივაციის, ქრომიკში, ამოჭმის, გალიაფერებისა და სხვა ოპერაციებისას.

ქრომის ნაერთები იწვევენ გამაღიზიანებელ მოქმედებას, ლეიძლის, თირკმელის, გულის კუნთის დისტროფიულ ცვლილებებს, ფილტვების ემფიზემასა და ფიბროზს, ალერგიულ ეკზემას, სიმსივნურ წარმონაქმნებს.

ქრომირების წარმოების ჩამდინარე წყლის კონტროლი და ეფექტური გაწმენდის მეთოდის შერჩევა მნიშვნელოვანია უნარჩენო ტექნოლოგიის შესაქმნელად.

**2.1. კარბონატების, ჰიდროკარბონატების ტუტიანობის განსაზღვრა**

ზედაპირული წყლების დიდი ნაწილი (~80%) მიეკუთვნება ჰიდროკარბონატულ კლასს, რადგან მათში მთავარ ანიონებს შორის ჭარბობს ჰიდროკარბონატი. ჰიდროკარბონატული და კარბონატული იონების შემცველობა მნიშვნელოვნად განაპირობებს წყლის ტუტიანობას.

ტუტიანობა – წყალში არსებული სუსტი მჟავების ჯამური ანიონების კონცენტრაცია (ძირითადად ნახშირმჟავას ანიონების), რომელთა განსაზღვრა შესაძლებელია ძლიერი მჟავით გატიტრისას, ანსვავებენ ტუტიანობის 3 ფორმას: თავისუფალს, კარბონატულს და საერთოს.

თავისუფალი ტუტიანობა განპირობებულია ჰიდროკარბონატული და კარბონატული იონებით. მას საზღვრავენ მჟავის იმ რაოდენობით, რომელიც იხარჯება წყლის გატიტრაზე  $pH=8,3$ -მდე.

კარბონატული ტუტიანობა დამოკიდებულია წყალში მხოლოდ ნახშირმჟავას ანიონების

საერთო ტუტეიანობა განისაზღვრება წყალში ორგანული და არაორგანული წარმოშობის სუსტი მჟავების ანიონებისა და აგრეთვე ჰიდროქსიდის იონების არსებობით.

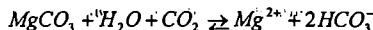
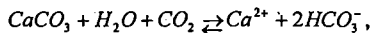
ნახშირბადის დიოქსიდი ბუნებრივ წყლებში გვხვდება ძირითადად არადისოცირებული ფორმით, ჰიდროკარბონატ- და კარბონატ-იონების სახით. აირადი ნახშირბადის დიოქსიდი იხსნება და ნაწილობრივ ჰიდრატირდება მცირედდისოცირებად ნახშირმჟავას წარმოქმნით. ამ ფორმას უწოდებენ თავისუფალ ნახშირბადის დიოქსიდს. ჰიდროკარბონატ (ბიკარბონატ)- და კარბონატ-იონებში შემავალი CO<sub>2</sub>-ის წილს უწოდებენ ბიკარბონატულ (ჰიდროკარბონატულ) და კარბონატულ დიოქსიდს. CO<sub>2</sub>-ის სამივე ფორმის შემცველობის ჯამს უწოდებენ საერთო ნახშირბად დიოქსიდს. CO<sub>2</sub>-ის სხვადასხვა ფორმების თანაფარდობა წყალში დამოკიდებულია pH-ზე.

ცხრილი 7

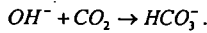
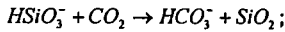
CO<sub>2</sub>-ის ცალკეული ფორმების შემცველობის დამოკიდებულება pH-ზე (25°)

ფორმა	CO <sub>2</sub> -ის ცალკეული ფორმის შემადგებლობა %-ში									
თავისუფალი	99,5	95,4	67,7	17,3	2,0	1,0	0,2	—	—	—
ჰიდროკარბონატული	0,5	4,6	32,3	82,7	97,4	97,8	94,1	62,5	14,3	—
კარბონატული	—	—	—	—	0,6	1,2	5,7	37,5	85,7	—
pH	4	5	6	7	8	8,3	9	10	11	—

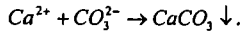
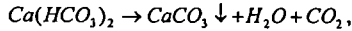
პრაქტიკულად როდესაც pH=4,5, მაშინ არის ჰიდროკარბონატული ფორმა, როცა pH=8,3 – არის თავისუფალი და კარბონატული ფორმის საზღვარი. ატმოსფერული ნალექები შეიცავს მხოლოდ ბიკარბონატ იონებს, რომლებიც წონასწორობაშია კალციუმის და მაგნიუმის ექვივალენტურ რაოდენობასთან. თავისუფალი CO<sub>2</sub>-ის შემცველობა მნიშვნელოვნად იცვლება არის ზეგავლენით. იგი მცირდება ფოტოსინთეზის ინტენსიური მიმდინარეობისას და იზრდება ორგანული ნივთიერებების ბიოქიმიური დაშლის შედეგად. ჭარბი რაოდენობა ქრება წყლის ატმოსფეროსთან ურთიერთშეხებისას. მინერალურ და ღრმა წყლებში თავისუფალი და ჰიდროკარბონატული CO<sub>2</sub>-ის კონცენტრაცია აღწევს საკმაოდ მაღალ მნიშვნელობას. ასეთ წყლებში გვხვდება ასევე ტუტე ლითონთა კარბონატული მარილები. ჰიდროკარბონატული და კარბონატული იონების ძირითად წყაროს მიწისზედა წყლებში წარმოადგენს კარბონატული ქანების ქიმიური (კირქვა, მერგელი, დოლომიტი) გამორეცხვა და გახსნა:



ჰიდროკარბონატული იონების ნაწილი წარმოიქმნება ქანების ქიმიური გამორეცხვის პროდუქტების მეტამორფიზაციისას:

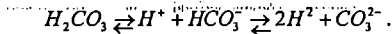


ჰიდროკარბონატული და კარბონატული იონების შემცველობა წყალსაცავებში იზრდება ქიმიური, სილიკატური, სოდის და სხვა მრეწველობის ჩამდინარე წყლებით. ჰიდროკარბონატული და კარბონატული იონების დაგროვების შედეგად წარმოიქმნება მცირედ ხსნადი კალციუმის კარბონატი, რომელიც გამოიყოფა ნალექის სახით



ამ პროცესს აქვს ბუნებაში დიდი მნიშვნელობა რადგანაც მასზეა დამოკიდებული კარბონატული ქანების სისქის ჩამოყალიბება.

ზედაპირულ წყლებში ჰიდროკარბონატული და კარბონატული იონები არიან ხსნად მდგომარეობაში, ხოლო ნაწილი კი არის შეწონილ და კოლოიდურ მდგომარეობაში მაღალ დისპერსიული ნაწილაკის  $CaCO_3$ -ის სახით, რომლის მდგომარეობა დამოკიდებულია ხსნარში ჰუმუსური ნივთიერებისა და სხვა კათიონების არსებობაზე. ვინაიდან ეს ნივთიერებები წარმოქმნიან ხსნარში კომპლექსებს და იონურ წყვილებს. ხსნარში ჰიდროკარბონატულ და კარბონატულ იონებს შორის არსებობს მოძრავი წონასწორობა, რომელიც განისაზღვრება დისოციაციის კონსტანტებით, რაც დამახასიათებელია ნახშირმჟავას დისოციაციის I და II საფეხურებისათვის:



ნახშირმჟავას დისოციაციის პირველი კონსტანტა  $K_1 = 4 \cdot 10^{-7}$  და მეორე  $K_2 = 4,2 \cdot 10^{-11}$ .

ჰიდროკარბონატული და კარბონატული იონების კონცენტრაციას შორის თანაფარდობა დამოკიდებულია წყალბად იონების კონცენტრაციაზე და განისაზღვრება საკვლევი წყლის pH-ით. ბუნებრივ წყლებში, რომელთა pH 4-ზე დაბალია, ჰიდროკარბონატული იონები პრაქტიკულად არ არსებობენ; ინტერვალში pH=6-10 არსებობს ნახშირმჟავას წარმოებულების ძირითადი ფორმა (მათი მაქსიმალური შემცველობაა როცა pH=8,3-8,4), კარბონატული იონები წარმოიქმნება როცა pH>7 და pH>10,5.

მდინარეებში ჰიდროკარბონატული და კარბონატული იონების შემცველობა მერყეობს 30-400 მგ  $HCO_3^-$ /ლ, ტბებში 1-500 მგ  $HCO_3^-$ /ლ, ზღვაში 100-200 მგ  $HCO_3^-$ /ლ. ატმოსფერულ ნალექებში 30-100 მგ  $HCO_3^-$ /ლ, გრუნტის წყლებში 150-300 მგ  $HCO_3^-$ /ლ, მიწისქვეშა წყლებში იზრდება 150-900 მგ  $HCO_3^-$ /ლ.

ჰიდროკარბონატული და კარბონატული იონების შემცველობა ზედაპირულ წყლებში

იცვლება სეზონის მიხედვით, დაბალ მინერალიზებულ წყლებში მისი ცვლილება ძალიან მკვეთრად კორელირდება წყლის საერთო მინერალიზაციის ცვლილებით.

ტუტთანობა წარმოადგენს ზედაპირული წყლების მთავარ მახასიათებელს, რომლის მიხედვითაც შეიძლება მსჯელობა ისეთ მთავარ ქიმიურ და გეოქიმიურ პროცესებზე, რომელსაც წარმოადგენს წყლის ქიმიური შემადგენლობის ფორმირება, მიწის ზედაპირის ეროზია, დანალექი ქანების წარმოქმნა, კერძოდ კარბონატული ქანების და სხვ.

წყლის pH-ის და ტუტთანობის სიდიდის მნიშვნელობებით განისაზღვრება კარბონატული წონასწორობა (საერთო რაოდენობა  $CO_2+H_2CO_3$ , თავისუფალი  $CO_2$  და ა.შ.), ნახშირმჟავას ბალანსის გათვლები, რაც აუცილებელია წყლის კარბონატული სისტემის გამოთვლისათვის. ტენკაში ტუტთანობის სიდიდეზე დამოკიდებული სამშენებლო მასალების (ბეტონის) კოროზია, საქვებებში კარბონატული დანალექის წარმოქმნა. ზედაპირული წყლების ანალიზის ჩასატარებლად ფართო გამოყენება ჰპოვა შემდეგმა მეთოდებმა: პირდაპირი გატიტერა, უკუგატიტერა და პოტენციომეტრია.

პირდაპირი გატიტერის მეთოდი დამყარებულია წყლის სინჯის გატიტერაზე ძლიერ მჟავე არეში ( $HCl$ ,  $H_2SO_4$ ) ინდიკატორის თანაობისას. შეფერილობის შეცვლა ექვივალენტურ წერტილში ხდება, როდესაც  $pH=3-4$ . ასეთ ინდიკატორს წარმოადგენს მეთილნარინჯი, მეთილწითელი, ბრომფენოლი ლურჯი და სხვ.

ამ მეთოდის ნაკლია pH-ის დაუდგენელი მნიშვნელობა გატიტერის ბოლო წერტილში, ამ დროს გამოიყოფა  $CO_2$  და მის შეფერილობაზე აკლენს გავლენას. თავისუფალი ტუტთანობის განსასაზღვრავად გამოიყენება ფენოლფტალეინი, რომელიც გვაძლევს შეფერილობას,  $pH=8$ -ს.

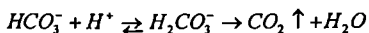
პოტენციომეტრული მეთოდი გამოიყენება, ფერადი და მკვრივი წყლების ანალიზისათვის, რომლის ტუტთანობა მეტია  $0,5$  მგ  $CO_3/ლ$ .

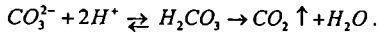
უფრო ზუსტს წარმოადგენს უკუტიტრაციის მეთოდი.

### უკუტიტრაციის მეთოდი

#### მეთოდის არსი

მეთოდი გამოიყენება უფრო და სუსტად შეფერილი წყლების ანალიზისათვის, რომლის ტუტთანობა მეტია  $10$  მგ  $HCO_3^-/ლ$ . მეთოდი დამყარებულია პიდროკარბონატული და კარბონატული იონების ურთიერთქმედებაზე ძლიერ მჟავე არეში  $HCO_3^-$  -ის წარმოქმნით. რომელიც იშლება  $CO_2$ -ად და წყლად.





ანალიზის ჩატარებისას გათვალისწინებულია მარილმჟავას დამატება pH=3-მდე, წარმოქმნილი  $CO_2$ -ის მოცილება და უკანასკნელის გატიტრვა ჭარბ მჟავაში  $Na_2B_4O_7$ -ის ხსნარით შერეული ინდიკატორის თანაობისას (მეთილ წითელი, მეთილენ ცისფერი). ჰიდროკარბონატული იონების მინიმალური განსასაზღვრავი კონცენტრაციაა 10 მგ /ლ. შეფარდებითი სტანდარტული გადახრა (U) 200 მგ/ლ კონცენტრაციისას და ზევით შეადგენს 1% (n=18), ხოლო 100 მგ/ლ კონცენტრაციისას და დაბლა - 5% (n=18). ცალკეული სინჯის განსაზღვრის ხანგრძლივობაა 20 წთ.

#### ხელისშემშლელი პირობები

განსაზღვრას ხელს უშლის თავისუფალი ქლორი, წყლის ფერი, სიმღერივე და წყალში გახსნილი  $CO_2$ . ასევე სუსტი მჟავას ანიონები, რომლებიც იტიტრებიან მჟავას ანიონებთან ერთად.

თავისუფალი ქლორის გაუღების თავიდან ასაცილებლად უმატებენ 0,1 ნატრიუმის თიოსულფატის  $Na_2S_2O_3$ -ის ექვივალენტურ რაოდენობას.  $CO_2$ -ს აცილებენ შემთავებული წყლის სინჯში ჰაერის შებერვით, ან 10 წთ-ის განმავლობაში დუღილით. მწუშნელოვნად მღვრიე და შეფერილი წყლის ანალიზისათვის მიზანშეწონილია გამოყენებული იქნეს პოტენციომეტრული გატიტრვის მეთოდი.

#### ანალიზის მსვლელობა

100 მლ საკვლევ წყალს 250 მლ-იან კოლაში უმატებენ 10 წვეთ ინდიკატორს და 0,05 ნ მარილმჟავას ხსნარის ამავე რაოდენობას ისე, რომ სინჯი იღებს ყოლოსფერ შეფერილობას. შემდეგ უმატებენ 1-2 მლ მარილმჟავას ხსნარს და აცილებენ ჰაერის შებერვით ზედმეტ  $CO_2$ -ს, ჰაერის შებერვის შეუწყვეტელად წყალს ტიტრავენ ბორაქსით ( $Na_2B_4O_7$ ) ხსნარით მწუანე შეფერილობამდე.

#### ანგარიში

ტუტთანობის სიდიდე მგ-ეკვ-ში.  $HCO_3^-$ /ლ და მგ  $HCO_3^-$ /ლ თვლიან ფორმულით:

$$\text{მგ-ეკვ } HCO_3^- / \text{ლ} = \frac{(N_1 \cdot n_1 - N_2 \cdot n_2) \cdot 1000}{V}$$

$$\text{მგ } HCO_3^- / \text{ლ} = \frac{(N_1 \cdot n_1 - N_2 \cdot n_2) \cdot 1000 \cdot 61,02}{V}$$

სადაც  $N_1$  – მარილმჟავას ხსნარის ნორმალობა;

$n_1$  – მარილმჟავას ხსნარის მოცულობა;

$N_2$  –  $Na_2B_4O_7$ -ის ხსნარის ნორმალობა;

$n_2$  – ჭარბ  $HCl$ -ის გატიტრებაზე დახარჯული  $Na_2B_4O_7$ -ის ხსნარის მოცულობა;

$V$  – წყლის მოცულობა მლ-ში.

## რეაქტივები

1.  $HCl$ -ის ხსნარი, ქიმიურად სუფთა, 0,05 ნ.

4,2 მლ კონცენტრაციის მარილმჟავას უმატებენ ბიდისტილატს 1 ლ-მდე. მჟავას ნორმალობას ამოწმებენ  $Na_2B_4O_7$ -ის ზუსტი ხსნარით. მარილმჟავას ხსნარი შეიძლება შენახულ იქნას სინჯარაში, რომელიც შეერთებულია ბიურეტთან.

2.  $Na_2B_4O_7$  0,05 ნ-ის ხსნარი, ქიმიურად სუფთა.

4,7672 გრ. 3-ჯერ გადაკრისტალბული  $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$  პრეპარატს ხსნიან ბიდისტილატში 500 მლ მზომ კოლბაში. ბიორაქსის ხსნარი ინახება 3 თვის განმავლობაში.

გადაკრისტალბება: 20-25 გრ  $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ , ქიმიურად სუფთას, ხსნიან 100 მლ გამოხდილ წყალში  $50^\circ C$ -მდე გაცხელებით, თბილ ხსნარს სწრაფად ფილტრავენ ბიუხნერის ძაბრით. ფილტრატს აციებენ ყინულიან აბაზანაზე, გამოყოფილ კრისტალებს ბიუხნერის ძაბრით გამოყოფენ და ჰაერზე აშრობენ 2 დღის განმავლობაში ფილტრის ქაღალდებს შორის. მიღებულ პრეპარატს აგატის ფილაში აფხვიერებენ, პრეპარატს ინახავენ ბიუქსში, რომელიც ჩადებულია ექსიკატორში (ნატრიუმის ბრომზე, რომელიც დანამულია მცირე რაოდენობის წყლით). ნატრიუმის ტეტრაბორატს უნდა ჰქონდეს მუდმივი წონა.

3. შერეული ინდიკატორი

0,5 გრ მეთილ წითელს ხსნიან 10 მლ ეთილის სპირტში და უმატებენ 4 მლ 1%-იან მეთილენ ცისფერის წყლიან ხსნარს. ხსნარს უნდა ჰქონდეს ჟოლოსფერი მჟავა არეში, ხოლო ტუტე არეში ინტენსიური მწვანე ფერი, ინდიკატორი ინახება მუქ ჭურჭელში.

მარილმჟავას ხსნარის ნორმალობის განსაზღვრა. მარილმჟავას ხსნარის ნორმალობის განსასაზღვრავად 10 მლ  $HCl$ -ს უმატებენ 90 მლ გამოხდილ წყალს და 10 წვეთ შერეული ინდიკატორის ხსნარს. ხსნარს შევჯღრევენ და ატარებენ მასში 10 წთ-ის განმავლობაში ჰაერს, რომელიც არ შეიცავს  $CO_2$ -ს. შემდეგ ტიტრავენ 0,05 ნ ნატრიუმის ტეტრაბორატის ხსნარით ჟოლოსფერიდან ინტენსიურ მწვანე ფერში გადასვლამდე. ზუსტად ითვლება გატიტრებაზე



დახარჯული  $Na_2B_4O_7$ -ის ხსნარის რაოდენობა. განსაზღვრა მეორდება ორჯერ. თუ ცდომილება არ აღემატება 0,02-0,03 მლ, მაშინ ითვლიან საშუალო არითმეტიკულს.

მარილმჟავას ნორმალობა გამოითვლება ფორმულით

$$N_1 = \frac{N_2 \cdot n_2}{10},$$

სადაც  $N_1$  არის მარილმჟავას ნორმალობა,

$N_2 - Na_2B_4O_7$  ხსნარის ნორმალობაა, 0,05 ნ;

$n_2$  - გატიტრებაზე დახარჯული  $Na_2B_4O_7$ -ის ხსნარის მოცულობაა, მლ.

### $Na_2B_4O_7$ -ის ხსნარის ნორმალობის განსაზღვრა

$Na_2B_4O_7$ -ის საშუალო ხსნარის ნორმალობის განსაზღვრავად 10 მლ  $HCl$ -ის ხსნარს, რომლის ნორმალობა დადგენილია, უმატებენ 90 მლ გამოხდილ წყალს და 10 წვეთ შერეული ინდიკატორის ხსნარს და ტიტრირებენ ანალოგიურად (როგორც აღნიშნულია  $HCl$ -ის ხსნარის ნორმალობის განსაზღვრისას).

$Na_2B_4O_7$ -საშუალო ხსნარის ნორმალობას ითვლიან ფორმულით

$$N_2 = \frac{N_1 \cdot 10}{n_2},$$

სადაც  $N_1$  - მარილმჟავას ხსნარის ნორმალობაა;

$N_2 - Na_2B_4O_7$  საშუალოს ხსნარის ნორმალობაა;

$n_2$  - გატიტრებისას დახარჯული  $Na_2B_4O_7$  ხსნარის მოცულობაა, მლ.

მარილმჟავასა და  $Na_2B_4O_7$  ხსნარების ნორმალობების განსაზღვრა ხდება თვეში ორჯერ.

### ჭურჭელი

1. ბიურეტი 15 მლ - 1 ც  
25 მლ - 1 ც.
2.  $HCl$ -ის და  $Na_2B_4O_7$ -ის შესაბამისი ჭურჭელი (სინჯარა).  
- 2 ც.
3. პიპეტი 15 მლ - 1 ც.  
100მლ - 1 ც.
4. ჰაერის (რომელიც არ შეიცავს  $CO_2$ -ს) შესაბერი  
მოწყობილობა - 1 ც.

## 5. კონუსური კოლბა 250 მლ – 6 ც.

CO<sub>2</sub> არის უფერო აირი, იხსნება წყალში, წარმოიქმნება მეტალურგიული, კომბინატური, შაქრის, ლუდის, გაზირებული წყლების, მშრალი ყინულის, სოდის, ტყვიის მათეორეგელის, შარლოვანას, ფარმაცევტული, ცეცხლგამძლე ქსოვილების და ცეცხლმჭრობი წარმოების გამონაბოლქვებით.

იწვევს ტოქსიკურ ზეგავლენას: თავბრუხვევას, თავის ტკივილს, საერთო სისუსტეს, სისხლის წნევის გაზრდას, სუნთქვის მოშლას, გულისცემისა და პულსაციის მომატებას, დიდი კონცენტრაციით ნარკოტიკულ ზემოქმედებას და ხუთვას.

ტუტანიობის განსაზღვრა ხდება სინჯის აღებიდან სწრაფად (არა უმეტეს 1 დღე-ღამისა). მღრიე სინჯებს ფილტრავენ 0,45 მკ მემბრანის ფილტრით. სინჯის აღებისას ბოთლებს სრულად აესებენ. სინჯის აღება და შენახვა წარმოებს პოლიეთილენური ჭურჭლით შესაძლებელია პირექსის მინისაგან დამზადებული ჭურჭლის გამოყენებაც.

### 2.2. ფოსფატების განსაზღვრა

ფორფორი წარმოადგენს ერთ-ერთ მთავარ ბიოგენურ ელემენტს, რომელიც განსაზღვრავს წყალსაცავის პროდუქტიულობას. ფოსფორის ნაერთები გვხვდება ყველა ცოცხალ ორგანიზმში და არეგულირებენ უჯრედოვანი ცვლის ენერგეტიკულ პროცესებს,

გრუნტის წყლები შეიცავენ ფოსფატების უმნიშვნელო რაოდენობას; ზედაპირულ წყლებში ფოსფატები გვხვდება, ძირითადად, ნიადაგიდან, სხვადასხვა ჩამდინარე წყლებით, ან ორგანული მასების დაშლით. ფოსფორი წარმოადგენს ცოცხალი ორგანიზმებისათვის საკვებ არეს, განსაკუთრებით ფიტოპლანქტონისათვის. სასმელ წყალში ფოსფატების მნიშვნელოვანი რაოდენობა მიუთითებს მის გაჭუჭყიანებაზე.

წყლის თანამედროვე მეთოდებით დამუშავებისას და სინთეტიკურ სარეცხი საშუალებების გამოყენებისას ზედაპირული წყლები ჭუჭყიანდება პოლიფოსფატებით, რომლებიც ნელა პიდროლიზდებიან ორთოფოსფატების წარმოქმნით.

ტერმინი „საერთო ფოსფორი“ აერთიანებს ყველა სახის ფოსფატებს, რომელსაც შეიცავს წყალი – ხსნადი და უხსნადი, არაორგანული და ორგანული.

წყალში ფოსფატები ძირითადად არიან არაორგანული ხსნადი ორთოფოსფატების სახით. მათი განსაზღვრისათვის გამოიყენება ფოტომეტრული მეთოდი.

ზედაპირულ წყლებში ფოსფოროვანი ნაერთების რაოდენობის მომატების მთავარ ფაქტორს წარმოადგენს ადამიანის სამრეწველო-სამეურნეო საქმიანობა. ზედაპირული წყლების გაჭუჭყიანების ძირითად წყაროს წარმოადგენს ფოსფოროვანი სასუქების, პოლიფოსფატების,

როგორც სარეცხი საშუალების, ფლოტორეაგენტებისა და წყლის დამარბილებების ფართო გამოყენება.

ორგანული და მინერალური ფოსფოროვანი ნერთები წარმოიქმნება საყოფაცხოვრებო ჩამდინარე წყლებისა და საკვების ნარჩენების ბიოლოგიური გადამუშავების შედეგად, ასევე სამრეწველო ჩამონადენების ბიოლოგიური გაწმენდის პროცესებში.

ბუნებრივ წყლებში ფოსფოროვანი ნერთები გვხვდება ხსნად, შეწონილ და კოლოიდურ მდგომარეობაში. ფიზიკური, ბიოლოგიური და ქიმიური ფაქტორების ზეგავლენით ფოსფორი ერთი ფორმიდან გადადის მეორეში, რაც ანალიზის დროს გასათვალისწინებელია. ხსნადი ფოსფორი წარმოადგენს არაორგანულ ორთო-, პირო-, მეტა- და პოლიფოსფატებსა და ორგანულ ფოსფატებს.

შეწონილი ფოსფორი, რომელთა ნაწილაკის ზომა აღემატება 0,45 მკ, არსებობს როგორც არაორგანული (ფოსფორშემცველი მინერალები), ისე ორგანული სახით. ორგანული ტიპტივარები (სესტონი) შედგება ცოცხალი და მკვდარი (დეტრიტი) წყლის ორგანიზმებისაგან.

სხვა ბიოგენურ ელემენტთან შედარებით ფოსფორი შედარებით სწრაფად გადადის ორგანულიდან მინერალურ ფორმაში. ე.ი. წარმოადგენს შედარებით დინამიურს ცოცხალ ორგანიზმში გატარების სტადიის დროს.

არაორგანული ფორმა, ნაწილობრივ ორთოფოსფატური, დამოკიდებულია წყლის pH-ზე. როცა  $pH > 6,5$  (ზედაპირულ წყლებში) ფოსფატები ძირითადად იმყოფებიან  $HPO_4^{2-}$  ფორმით.

ფოსფორმჟავას წარმომებულების ფორმათა თანაფარდობების დამოკიდებულება pH-ზე წყალში (მოლ. %):

ცხრილი 8

	pH							
	5	6	7	8	8,5	9	10	11
$[H_3PO_4]$	0,1	0,01	—	—	—	—	—	—
$[H_2PO_4^-]$	97,99	83,67	33,90	4,88	1,6	0,51	0,05	—
$[HPO_4^{2-}]$	1,91	16,32	66,10	95,12	98,38	99,45	99,59	99,53
$[PO_4^{3-}]$	—	—	—	—	0,01	0,04	0,36	3,47

ორგანულ ხსნად ფოსფორს წარმოადგენს ნუკლეინის მჟავები, ნუკლეოპროტიდები, ფოსფორილისებური შაქრები, ფოსფორლიპიდები, ადენოზინფოსფატები და სხვა. ზედაპირულ წყლებში ფოსფატების კონცენტრაცია შეადგენს მგ P/ლ-ის ასეულ და ათასეულ წილს, გაჭუჭყიანებულ წყლებში კი აღწევს რამდენიმე მგ P/ლ-ს.

სეზონის მიხედვით ფოსფოროვანი ნერთების შემცველობა მერყეობს და დამოკიდებულია

წყლებში ფოსფატების კონცენტრაცია შეადგენს მგ P/ლ-ის ასეულ და ათასეულ წილს, გაჭუჭყიანებულ წყლებში კი აღწევს რამდენიმე მგ P/ლ-ს.

სეზონის მიხედვით ფოსფოროვანი ნაერთების შემცველობა მერყეობს და დამოკიდებულია ფოტოსინთეზისა და ორგანული ნივთიერების ბიოქიმიური დაშლის რეაქციების ინტენსივობათა თანაფარდობაზე.

ფოსფატების კონცენტრაცია მინიმალურია გაზაფხულზე და ზაფხულში, მაქსიმალურია შემოდგომასა და ზამთარში. წყალსაცავების ფოსფოროვანი ნაერთებით გაჭუჭყიანება იწვევს მის ეფექტროფიკაციას და წყლის ხარისხის შემცირებას.

ფოსფორის და მისი ნაერთები ტოქსიკურია, იწვევს საერთო ტოქსიკურ ზემოქმედებას, გამაღიზიანებელ მოქმედებას, სასუთქი გზების, ლორწოვანი გარსების, კანის, თირკმელებისა და ლეიძლის გაღიზიანებას. ასევე, იწვევენ ზოგ შემთხვევაში მუტაგენულ მოქმედებას, სპაზმებს და წყლულებს.

ზღკ – ერთ მაქს. – 0,15 მგ/მ<sup>3</sup>

ზღკ – დღე-ღამური. – 0,05 მგ/მ<sup>3</sup>

ტოქსიკურობის მიხედვით მიეკუთვნება II კლასს.

ფოსფატების განსაზღვრა ხდება ფოტომეტრიული მეთოდით.

სინჯის აღება, შენახვა და წინასწარი დამუშავება. ფოსფატები წარმოადგენენ ბიოქიმიურად მოძრავ კომპონენტებს, რომელთა განსაზღვრა წარმოებს ახლად აღებულ სინჯში; თუ ანალიზი სწრაფად არ ტარდება, მაშინ სინჯს ფილტრავენ 0,45 მკ მემბრანულ ფილტრზე, უმატებენ 2-4 მლ ქლოროფორმს 1 ლ წყალზე და ინახავენ 3-5°C-ზე 3 დღე-ღამის განმავლობაში.

### მეთოდის არსი

მეთოდი დაფუძნებულია ფოსფატების ურთიერთქმედებაზე მოლიბდატთან მჟავა არეში, ფორფორ-მოლიბდენ-პეტეროპოლიმჟავას  $H_2[P(Mo_2O_7)_6] \times 28H_2O$  წარმოქმნით.

ასკობრინის მჟავით ხდება მისი აღდგენა სტიბიუმ ლეინისმჟავა კალიუმის თანაობისას ცისფერი ფერის ფოსფორ-მოლიბდენ კომპლექსის წარმოქმნამდე.

მინიმალური განსაზღვრა კონცენტრაცია შეადგენს 0,005 მგ P/ლ. შეფარდებითი სტანდარტული გადახრაც 0,06 მგ P/ლ კონცენტრაციისას შეადგენს 1,5% ( $n=20$ ). ცალკეული სინჯის განსაზღვრის ხანგრძლივობა შეადგენს 40 წთ-ს.

## ზელისშემშლელი პირობები:

ძლიერმჟავიან ან ძლიერტუტთან სინჯს წინასწარ ანეიტრალებენ.

განსაზღვრას ზელს უშლის დარიშხანი და ვერცხლისწყალი, ასევე მაღალი კონცენტრაციის (100 მგ/ლ-მდე) სილიკატები და სამჟალენტანი რკინა (1 მგ/ლ-ზე მეტი კონცენტრაციით). მაღალი კონცენტრაციისა (რომელიც დამახასიათებელი არ არის ზედაპირული წყლებისათვის) განსაზღვრის მსვლელობაზე გავლენას ახდენენ ქლორიდები, ნიტრიტები, ქრომატები (2 მგ/ლ  $CrO_4^{2-}$  -ზე მეტი კონცენტრაციით) და ტანინი, სულფიდები და გოგირდწყალბადი, რომლის კონცენტრაცია აღმატება 3 მგ/ლ  $S^{-2}$ , სულფიდებისა და გოგირდწყალბადის მოსაცილებლად უმატებენ რამდენიმე მილიგრამ  $KMnO_4$ -ს 100 მლ სინჯზე და ანჯღრევენ 1-2 წუთის განმავლობაში. ხსნარი უნდა იყოს ვარდისფერი. შემდეგ უმატებენ ჯერ ასკორბინის მჟავას ხსნარს, ხოლო შემდეგ მოლიბდატის ხსნარს.

ქრომატებს აცილებენ რეაქტივების ისეთივე უკუთანმიმდევრობითი დამატებით, როგორც წინა შემთხვევაში. ნიტრიტების გავლენის ასაცილებლად უმატებენ სულფამინის მჟავას.

სილიციუმ მჟავასა და სხვა ნივთიერების გავლენის თავიდან ასაცილებლად სინჯს წინასწარ ანზავებენ, ხოლო რკინის ზეგავლენის თავიდან ასაცილებლად კი სინჯს ატარებენ კათიონიტზე ან უმატებენ ექვივალენტური რაოდენობის კომპლექსონს ( $\text{EDTA}$ ).

## ანალიზის მსვლელობა.

50 მლ საკვლევე წყალს პიპეტის საშუალებით ასხავენ 50 მლ-იან მზომ კოლბაში (ნაკლები მოცულობისას ავსებენ დისტილირებული წყლით 50 მლ-მდე), უმატებენ 5 მლ შერეულ რეაქტივს და ხსნარს ანჯღრევენ. 15 წთ-ის შემდეგ საზღვრავენ მის ოპტიკურ სიმკვრივეს  $\lambda=690$  ნმ სივრდის ტალღაზე (წითელ მუქფილტრით) ან სპექტროფოტომეტრზე  $\lambda=882$  ნმ). მის მნიშვნელობას აკლებენ ფუჭი სინჯის განსაზღვრისას მიღებულ ოპტიკურ სიმკვრივის მნიშვნელობას.

ფოსფატების შემცველობას მგ P/ლ საზღვრავენ საკალიბრო მრუდით.

საკალიბრო მრუდის აგება:

50 მლ-იან საზომ კოლბაში პიპეტით იღებენ:

0,0; 1,0; 2,5; 5,0; 10,0; 25,0; 50,0 მლ სამუშაო კალიუმის ფოსფატის ხსნარს და მოცულობა მიჰყავთ ჭედმდე. მათ შესაბამება სტანდარტული კალიუმის ფოსფატების ხსნარის შემდეგი კონცენტრაციები: 0; 0,02; 0,05; 0,10; 0,20; 0,50; 1,0 მგ/ლ  $PO_4^{3-}$ . საზღვრავენ, როგორც ზემოთ არის აღწერილი.

ვაგებთ საკალიბრო მრუდს, რომლის აბსცისაზე გადაზომილია ფოსფატების კონცენტრაცია მგ /ლ, ხოლო ორდინატაზე კი ოპტიკური სიმკვრივე ( $D$ ).

ანგარიში

ხსნადი არაორგანული ფოსფატების ( $PO_4^{3-}$ ) შემცველობა განსაზღვრა მგ/ლ-ებში შესაძლებელია შემდეგი ფორმულის საშუალებით:

$$x = \frac{C \cdot 50}{V},$$

სადაც  $C$  – საკალიბრო მრუდზე მოძებნილი ფოსფატების კონცენტრაცია, მგ/ლ;

$V$  – საანალიზოდ აღებული სინჯის მოცულობა, მლ.

ასევე ფოსფატების შემცველობა განისაზღვრება ფორმულით

$$C_x = C_0 \cdot n \text{ მგ. /ლ.}$$

სადაც  $C_0$  – საკალიბრო მრუდზე მოძებნილი ფოსფორის კონცენტრაციაა მგ/ლ-ებში.

$n$  – საწყისი ხსნარის წყლით განზავების ხარისხია.

(თუ საანალიზო ხსნარს არ ანზავებენ,  $n=1$ , ხოლო თუ 10 მლ ვიღებთ და ვანზავებთ 50 მლ-მდე, მაშინ  $n=5$  და ა.შ.).

რეაქტივები:

1) სტანდარტული ფოსფატის ხსნარი –  $KH_2PO_4$ , კიმიურად სუფთა:

ა) ძირითადი სტანდარტული ხსნარი, 0,7165 გრ  $KH_2PO_4$ , ქს. ან., წინასწარ აშრობენ 2 სთ-ის განმავლობაში  $105^\circ C$  ტემპერატურაზე და აცივებენ კალციუმ ქლორიდან ექსიკატორში. ხსნიან დისტილირებული წყლით და უმატებენ 2 მლ<sup>1</sup> ქლოროფორმს, აესებენ 1 ლ-მდე დისტილირებული წყლით საზომ კოლაში. 1 მლ ხსნარი შეიცავს 0,50 მგ  $PO_4^{3-}$ ;

ბ) სამუშაო სტანდარტული ხსნარი:

10 მლ ძირითად სტანდარტულ ხსნარს ხსნიან 1 ლ დისტილირებულ წყალში. 1 მლ ხსნარი შეიცავს 0,005 მგ  $PO_4^{3-}$ .

2) გოგირდმჟავას ხსნარი,  $H_2SO_4$ , (კიმიურად სუფთა ანალიზისათვის) განზავებული ხსნარი. 140 მლ. კონცენტრირებულ  $H_2SO_4$ -ს ( $d=1,84$ ). უმატებენ 900 მლ დისტილირებულ წყალს.

3) ამონიუმის მილიბდატის ხსნარი ( $NH_4$ ) $Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ , კიმიურად სუფთა ანალიზისათვის; 3 გრ მარილს ხსნიან 100 მლ გამობდილ წყალში. ინახავენ პოლიეთილენის ჭურჭელში.

4) ასკორბინის მჟავას ხსნარი,  $C_6H_8O_6$ , კიმიურად სუფთა ან სუფთა ანალიზისათვის.

2,16 გრ ასკორბინის მჟავას ხსნიან 100 მლ გამოხდილ წყალში. ხსნარს ინახავენ მაცივარში. მდგრადია სამი კვირის განმავლობაში.

5) სტიბიუმ ღვინისმჟავა კალიუმის მარილის ხსნარი (კალიუმის ანთიმონილტარტრატი),  $K(SbO)C_4H_4O_6 \cdot 1/2H_2O$ , კიმიურად სუფთა.

0,34 გრ სტიბიუმ ღვინისმჟავა კალიუმის მარილს ხსნიან ბიდისტილატში და ანზავენ 500 მლ-მდე მზომ კოლბაში.

6) *n* – ბუთანოლი, ქ.ს. ან., 7) ეთანოლი, 96%-იანი ხსნარი.

8) შერეული რეაქტივი.

125 მლ განზავებულ გოგირდმჟავას ხსნარს უმატებენ 50 მლ მოლიბდატ ამონიუმის ხსნარს, ასევე, უმატებენ 50 მლ ასკორბინის მჟავასა და 25 მლ სტიბიუმ ღვინისმჟავა კალიუმის ხსნარს.

ამ რეაქტივს ინახავენ არა უმეტეს 25 საათის განმავლობაში.

ამზადებენ ანალიზის წინ.

აპარატურა

სპექტროფოტომეტრი ( $\lambda=882$  ნმ), ან ფოტოელექტროკოლორიმეტრი (წითელი შუქფილტრი,  $\lambda=690$  ნმ).

ჭურჭელი:

1) მზომი კოლბები მიხეზილი საცობით: 1 ლ-იანი – 1 ც  
200 მლ-იანი – 1 ც.  
50 მლ – 1 ც.

2) ბრტყელძირა კოლბები: 100 მლ – 15 ც.

3) მზომი ცილინდრები მიხეზილი საცობით:

250 მლ – 1 ც.

500 მლ – 1 ც.

4) დანაყოფებიანი პიპეტები:

5 მლ – 2 ც.

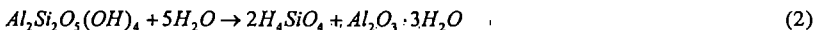
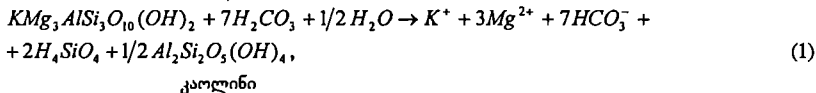
10 მლ – 2 ც.

შედეგები

დიაპაზონი:	0,01-0,20	0,20-0,50	0,50-1,00	1,0-2,0
მგ/ლ				
დამრეგალებული	0,01	0,02	0,05	0,1
მგ/ლ				

### 2.3. სილიციუმის განსაზღვრა

სილიციუმი წარმოადგენს ფართოდ გავრცელებულ კომპონენტს ბუნებრივ წყლებში. მთელი ნივთიერებათა მასის 11,6%-ს წარმოადგენს სილიციუმის ნაერთები, რომელიც კონტინენტალურ მდინარეებს ჩამოაქვთ ოკეანეში. სილიციუმის ნაერთები და მათ შორის სილიციუმმჟავას შემცველობა ზედაპირულ წყლებში განპირობებულია სილიციუმშემცველი მინერალების ხსნადლობითა და ქიმიური გამორეცხვის პროცესებით.



სილიციუმის მნიშვნელოვანი რაოდენობა წარმოიქმნება ხმელეთის მცენარეებისა და წყალმცენარეების ორგანიზმების, ნაწილობრივ დიატომური წყალმცენარეების კელმის შედეგად, ასევე, ატმოსფერული ნალექებით. მიწისზედა წყლებში სილიციუმის ნაერთები გვხვდება ხსნად, შეწონილ და კოლოიდურ მდგომარეობაში, რომელთა შორის თანაფარდობა განისაზღვრება წყლის შემადგენლობით, ტემპერატურით, pH-ით და სხვა ფაქტორებით. სილიციუმის ხსნადი ფორმით ძირითადად არის სილიციუმმჟავა, მისი დისოციაციისა და ასოციაციის პროდუქტები და ასევე ორგანული ნაერთები. სილიციუმმჟავას მონომერული და ასევე მონომერო-დიმერული ფორმების ხსნადობა 25°C-ზე შეადგენს დაახლოებით 6 მგ/ლ.

არადისოცირებულ  $H_4SiO_4$  და  $[H_2SiO_4]^-$  – იონს შორის თანაფარდობა დამოკიდებულია pH-ზე. პოლისილიციუმმჟავებს აქვს ცვლადი შემადგენლობა:  $xSiO_2 \cdot yH_2O$ .

სილიციუმმჟავას ორგანონაერთებთან კავშირი ნაკლებადაა შესწავლილი. ამ ფორმების აღმოჩენა ხდება ორგანული ნაერთების სრული დაჟანგვის შედეგ.

ხსნადი სილიციუმის ნაერთების დაგროვება იწვევს ნაწილობრივ მათ კოაგულაციას და ნალექად გამოყოფას. ხსნადი სილიციუმის ნაერთების კონცენტრაციის შემცირება გამოწვეულია აგრეთვე წყლის ორგანიზმების მიერ მათი მოხმარებით, განსაკუთრებით ძლიერად მიმდინარეობს დიატომური წყალმცენარეების ინტენსიური ზრდის პერიოდში.

შეწონილი სილიციუმის ნაწილაკის ზომაა 0,45 მკ-ზე მეტი, რომელიც წარმოადგენს სილიციუმშემცველ მინერალებსა და სობირებულ სილიციუმის ნაერთებს.

პოლიმერიზაცია იწვევს ხსნარში სილიციუმმჟავას კონცენტრაციის გაზრდას, pH-ისა და ტემპერატურის შემცირებას. ამის შედეგად შეიძლება წარმოიქმნას სწორხაზობრივი, ციკლური და განშტოებული სტრუქტურები.



სილიციუმის კოლოიდური ფორმა ნაკლებადაა შესწავლილი. თანფარდობა  $SiO_2$ -სა,  $H_2O$ -სა და ზოლის მოლეკულურ წონას შორის ფართო ზღვრებში იცვლება. შედარებით მდგრადია ზოლი, როდესაც  $pH=5-6$ .  $Si$ -ის კოლოიდური ფორმის არსებობა ზედაპირულ წყლებში განაპირობებს ჰუმინური მჟავების სტაბილიზაციას. მდინარეებში სილიციუმს შეეძლება იცვლება 1-20 მგ/ლ ზღვაში - 0,5-3 მგ/ლ, მიწისქვეშა წყლებში - 2-40±2000-3000 მგ/ლ. თერმულ წყლებში კი აღწევს ასეულ მგ/ლ.

მარადი გაყინულობის რაიონების დაბალმინერალიზებულ წყლებში, ასევე მკვეთრი ფერის ჭაობის, ტბის და მდინარეების წყლებში სილიციუმს შეადგენს მნიშვნელოვან არსებით ნაწილს (საერთო მინერალიზაციის ~50%), მიუხედავად დაბალი აბსოლუტური შემცველობისა. ასეთ წყლებში სილიციუმს შესაძლებელია ეკუთვნოდეს მაკროკომპონენტების შემადგენლობათა რიცხვს.

სილიციუმს კონცენტრაცია იცვლება ზედაპირულ წყლებში სეზონის მიხედვით. მისი რეჟიმის განსაზღვრელ ძირითად ფაქტორს წარმოადგენს ზედაპირულ და მიწისქვეშა წყლებს შორის ცვლადი თანფარდობა, სილიციუმს ბიოლოგიური მოხმარების პროცესების ინტენსიურობა, ცოცხალი ორგანიზმების კვლევა, სელიმენტაცია, კოაგულაცია და ა.შ.

სილიციუმის ნაერთები წყალსაცავებში ხდება სხვადასხვა საწარმოების, კერამიკობინათების, ცემენტის, მინის ნაკეთობების, სილიკატური საღებავების, მჭიდა მასალების, სილიციუმის, ორგანული კაუჩუკისა და სხვა შრეწველობის ჩამდინარე წყლებით.

სილიციუმი და მისი ნაერთები ახდენენ ცოცხალ ორგანიზმებზე საერთო ტოქსიკურ გამაღიზიანებელ ზეგავლენას, კანცეროგენულ მოქმედებას, იწვევს ზედა სასუნთქი გზების ქრონიკურ კატარს, ქრონიკულ ბრონქიტს, პრეემონიას, ფილტვების ენფიზემას, ხეცვლებას, ფლუოროზს. ლეტალური დოზა ადამიანისათვის შეადგენს 1 გრ.

სილიციუმი წარმოადგენს არამდგრად კომპონენტს, რომლის განსაზღვრა უნდა მოხდეს სინჯის აღების შემდეგ სწრაფად.

მკერძი სინჯს წინასწარ ფილტრავენ 0,45 მკ-ის მემბრანული ფილტრით. თუ ანალიზი სწრაფად არ ტარდება სინჯს უმატებენ გაფილტვრის შემდეგ 1 მლ  $H_2SO_4$ -ს (1±3) ერთ ლიტრ წყალში, ან აციებენ 0-3°C-მდე. ასეთი სინჯის შენახვა შესაძლებელია 1-3 დღე-ღამე. სინჯის შენახვისათვის რეკომენდებულია პოლიეთილენური ჭურჭელი.

სილიციუმის ნაერთების განსაზღვრის მეთოდები:

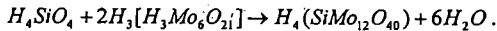
წყალში სილიციუმის ნაერთების განსაზღვრისათვის ფართოდ გამოყენებულია კოლორიმეტრული და ფოტომეტრული მეთოდები, რომელიც დაფუძნებულია ყვითელი ფერის სილიციუმპოლიმდენ ჰეტეროპოლიმჟავას, ან ალდგენილი ლურჯი ფერის სილიციუმპოლიმდენ

კომპლექსის წარმოქმნაზე. სილიციუმპოლიბდენ პეტეროპოლი მჟავა არსებობს ხსნარში  $\alpha$  და  $\beta$  ფორმით, რომელთაც აქვთ ერთნაირი ემპირიული ფორმულა (ცის-ტრანს იზომერები). მათ ახასიათებთ შუქშთანთქმის სხვადასხვა ინტენსივობა, რომელთა შორის თანაფარდობა დამოკიდებულია ხსნარის pH-ის სიდიდეზე.

### სილიციუმის ნაერთების განსაზღვრა ფოტომეტრული მეთოდით

მეთოდის არსი:

მეთოდი დაფუძნებულია სილიციუმმჟავას ამონიუმის მოლიბდატთან ურთიერთქმედებაზე მჟავა არეში. რის შედეგადაც წარმოიქმნება ყვითელი ფერის სილიციუმპოლიბდენ პეტეროპოლიმჟავა.



პეტეროპოლი მჟავას ხსნარის ოპტიკური სიმკვრივის განსაზღვრა ხდება  $\lambda=410$  ნმ,  $\lambda=24400$  სმ<sup>-1</sup>) სიგრძის ტალღაზე.

ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივესა და სილიციუმმჟავას კონცენტრაციას შორის სწორხაზობრივი დამოკიდებულება მუდმივია ზღვრებში 0-15 მგ. Si/ლ.

განსაზღვრავი მაქსიმალური კონცენტრაცია 0,5 მგ Si/ლ. ფარდობითი სტანდარტული გადახრა 2-15 მგ/ლ კონცენტრაციისა შეადგენს 2% ( $n=30$ ).

ცალკეული სინჯის განსაზღვრის ხანგრძლივობა 10 წთ.

### ხელისშემშლელი პირობები

განსაზღვრას ხელს უშლის აღმდგენელები ( $Fe^{+2}$  და სხვ.), რომლებიც იძლევიან ლურჯ შეფერვას, აგრეთვე ფოსფატები, ფტორიდები, ასევე  $Fe^{+3}$  იონი 20 მგ/ლ-ზე მეტი კონცენტრაციისას.

$Fe^{+2}$ -ის ზეგავლენის ასაცილებლად ხსნარს უმატებენ ამონიუმის პერსულფატის რამდენიმე კრისტალს. ფოსფატების თავიდან ასაცილებლად კი მჟაუნმჟავას ან ლვინისმჟავას ხსნარს. გოგირდწყალბადასა და სულფიდებს აცილებენ შემეკვებით და წყალის სინჯში ჰაერის შებერვით. ფტორიდების მოსაცილებლად უმატებენ ბორის მჟავას. სიმღვრივისა და შეფერილობის აცილება ხდება შეფერვის კომპენსაციით კოლორიმეტრიული განსაზღვრისას, რისთვისაც საკვლევი წყლის ფონის ოპტიკური სიმკვრივის განსაზღვრას ახდენენ რეაქტივების დამატების გარეშე და აკლებენ სინჯის ოპტიკური სიმკვრივის მნიშვნელობას.

## ანალიზის მსვლელობა

25 მლ (ან ნაკლები მოცულობისას აესებენ 25 მლ-მდე დისტილირებული წყლით) საკვლევ წყალს იღებენ 100 მლ-იან კოლბაში, უმატებენ 1 მლ  $HCl$ -ის ხსნარს, 2,5 მლ ამონიუმის მოლიბდატს და 10 წთ-ის შემდეგ უმატებენ 2,5 მლ ღვინისმჟავას ხსნარს. ნარევის ანჯღრევენ და 15 წთ-ის შემდეგ საზღვრავენ ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივეს სპექტროფოტომეტრზე ( $\lambda=815$  მმ,  $\nu=12340$  სმ<sup>-1</sup>). ერთი სანტიმეტრი სისქის კიუვეტებში, ხოლო თუ  $Si$ -ის მჟავას კონცენტრაციაა 0,5-5 მდე მგ  $Si/ლ$ , მაშინ გამოიყენება 5 სმ სისქის კიუვეტი. შესაძარებლად შეიძლება გამოყენებულ იქნას გამოხდილი წყალი. ამავე დროს განისაზღვრება საკვლევ წყლის ოპტიკური სიმკვრივე რეაქტივების დამატების გარეშე. მის მნიშვნელობას აკლებენ მღვრიე და მკრთალი შეფერილობის წყლის სინჯის ოპტიკურ სიმკვრივეს. სილიციუმის ნერთის კონცენტრაცია მგ  $Si/ლ$  განისაზღვრება საკალიბრო მრუდით.

### საკალიბრო მრუდის აგება:

25 მლ მზომ კოლბაში იღებენ 0; 1,25; 2,50; 5,0; 10,0; 15; 20 მლ სამუშაო ხსნარს და ანზავებენ დისტილირებული წყლით ჭდეზე. ასეთი ხსნარის კონცენტრაციები ტოლია 0; 1; 2; 4; 8; 16 მგ  $Si/ლ$ . განსაზღვრას აწარმოებენ როგორც ზემოთაა აღნიშნული. საკალიბრო მრუდის აგებისას აბსცისა ღერძზე გადაზომილია სილიციუმის – მგ  $Si/ლ$ , ხოლო ორდინატაზე კი ოპტიკური სიმკვრივე.

### ანგარიში

სილიციუმმჟავას შემცველობა განისაზღვრება ფორმულით

$$C_x = C \cdot n, \text{ მგ } Si/ლ,$$

სადაც  $C$  – არის საკალიბრო მრუდზე განსაზღვრული კონცენტრაცია, მგ  $Si/ლ$ .

$n$  – საანალიზო წყლის სინჯის განზავების ხარისხი.

თუ სინჯს არ ვანზავებთ, მაშინ  $n=1$ . თუ 10 მლ ვანზავებთ 50 მლ-მდე, მაშინ  $n=5$  და ა.შ.

### რეაქტივები:

1) ამონიუმის მოლიბდატის ხსნარი,  $(NH_4)_6Mo_7O_{27} \cdot 4H_2O$ , ქიმიურად სუფთა.

5 გრ ამონიუმის მოლიბდატს ხსნიან გამოხდილ წყალში და მოცულობა მიჰყავთ მზომ კოლბაში 100 მლ-მდე. ხსნარი მდგრადია 10 დღის განმავლობაში და მისი შენახვა რეკომენდირებულია პოლიეთილენურ ჭურჭელში.

2) მარილმჟავას ხსნარი, ქიმიურად სუფთა,

42 მლ კონცენტრირებულ მარილმჟავას ანზავებენ დისტილირებული წყლით 100 მლ-მდე და ინახვენ პოლიეთილენურ ჭურჭელში.

3) ლენისმჟავას ხსნარი, ქიმიურად სუფთა.

10 გრ ლენისმჟავას ხსნარს მცირე რაოდენობით დისტილირებულ წყალში. მოცულობა მიჰყავთ მზომ კოლბაში 100 მლ-მდე. ლენისმჟავას ნაცვლად შეიძლება გამოყენებულ იქნას მჟაუნმჟავა.

4) სილიციუმის სტანდარტული ხსნარის მომზადება:

სტანდარტული ხსნარი, 100 მგ *Si/ლ*-ში.

100 მგ  $SiO_2$ -ს ალღობენ პლატინის ტიგელში 3 გრ უწყლო სოდისა  $Na_2CO_3$  და  $Na_2B_4O_7$ -ის ნარევეთან ერთად, აღებულს თანაფარდობით 2:1,  $900^{\circ}C$ -ზე 15-20 წთ-ის განმავლობაში გამჭვირვალე შენადნობის მიღებამდე.

გაცივების შემდეგ უმატებენ ცხელ დისტილირებულ წყალს და გადააქვთ პოლიეთილენურ ჭიქაში. შემდეგ უმატებენ 100 მლ ცხელ დისტილირებულ წყალს და აყოვნებენ 1 ლამის განმავლობაში. ამის შემდეგ უმატებენ 100 მლ მარილმჟავას  $HCl$  (1:3) და ურევენ. ხსნარი გადააქვთ 500 მლ-იან მზომ კოლბაში და ავსებენ დისტილირებული წყლით. ხსნარი მდგრადია 3 წლის განმავლობაში და ინახება პოლიეთილენურ ჭურჭელში.

5) სამუშაო ხსნარი, 20 მგ *Si/ლ*.

50 მლ ძირითად ხსნარს ანზავებენ დისტილირებულ წყლით 250 მლ-იან მზომ კოლბაში და ინახვენ პოლიეთილენურ ჭურჭელში.

აპარატურა:

სპექტროფოტომეტრი ( $\lambda=410$  მმ) ან ფოტოელექტროკოლორიმეტრი (იისფერი შუქფილტრი).

ჭურჭელი:

- |                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| 1) 25 მლ მზომი კოლბა             | — 6 ც |
| 100 მლ კონუსური კოლბა            | — 6 ც |
| პიპეტები 1 მლ                    | — 1 ც |
| პიპეტები 2 მლ — 0,1 მლ დანაყოფით | — 1 ც |
| 5 მლ-იანი — 0,1 მლ დანაყოფით     | — 3 ც |
| 10 მლ-იანი                       | — 1 ც |
| 15 მლ-იანი                       | — 1 ც |
| 40 მლ-იანი                       | — 1 ც |
| 2) პოლიეთილენური (სინჯარა)       |       |
| 500 მლ                           | — 1 ც |
| 100 მლ                           | — 2 ც |

## 2.4. ქრომის განსაზღვრა

ქრომი გვხვდება წყალსაცავებში მანქანათმშენებლობის, ავტომობილების, საავიაციო ქარხნების, გალვანური საამქროების, საფეიქრო წარმოების, ტყაის გადამამუშავებელი ქარხნების, მღებავი საამქროებისა და ქიმიური მრეწველობის წარმოების ჩამდინარე წყლებით. ქრომი ხსნარებში არის  $Cr^{+3}$ , ან ანიონების, ქრომატ, ან ბიქრომატ იონების სახით.  $Cr(III)$  მდგრადია და მისი დაჟანგვა ჩვეულებრივ პირობებში  $Cr(VI)$ -მდე უგულებელყოფილია.  $Cr(III)$  ხსნად მდგომარეობაში გვხვდება მხოლოდ მყავა არეში. ნეიტრალურ და ტუტე გარემოში ჰიდროლიზდება  $Cr(III)$  ჰიდროქსიდის გამოყოფით. კომპლექსწარმომქმნელი ნივთიერებები ხელს უშლიან ჰიდროლიზს.  $Cr(VI)$  გვხვდება ტუტე ხსნარებში ქრომატ-იონების სახით, ხოლო მყავა არეში კი ბიქრომატ-იონების სახით. ამ ფორმით  $Cr(VI)$  მდგრადია წყალში, რომელიც არ შეიცავს აღმდგენლებს, წინააღმდეგ შემთხვევაში მიმდინარეობს  $Cr(VI)$ -ის აღდგენა  $Cr(III)$ -მდე.  $Cr(III)$ -ის ჰიდროქსიდი ძირითადად მყარი სახით გვხვდება. სასმელ და ზედაპირულ წყლებში ქრომის დაბალი კონცენტრაციისას საზღვრევენ მის საერთო შემცველობას. ჩამდინარე წყლებში კი ჩასატარებელი ანალიზის მიხედვით ქრომი ისაზღვრება ხსნარებში და მყარ ფაზაში. ხსნარებში ისაზღვრება  $Cr(VI)$  და  $Cr(III)$ .

ზედაპირულ წყლებში  $Cr(VI)$  და  $Cr(III)$  ნაერთები გვხვდება ქანების გამოტუტვის შედეგად (გოგირდპენტინიტებისა და სხვა ქრომის შემცველი მინერალებისაგან). წყალში ქრომი ასევე ხვდება ცოცხალი ორგანიზმებისა და მცენარეების დაშლის პროცესების შედეგად, ასევე ნიადაგიდან. ქრომის იონების კონცენტრაციის შემცირება შესაძლებელია მათი წყლის ორგანიზმებით მოხმარებისა (მაგ.: ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეებით) და აღსორბციის პროცესების შედეგად.

ზედაპირულ წყლებში ქრომის ნაერთები გვხვდება როგორც ხსნად ასევე შეწონილ მდგომარეობაში, რომელთა შორის თანაფარდობა დამოკიდებულია წყლის შემადგენლობაზე, ტემპერატურაზე და ხსნარის pH-ზე.

სორბირებული ქრომის ნაერთები ძირითადად გვხვდება შეწონილ მდგომარეობაში. ხშირად სორბენტების როლს ასრულებს თიხები, რკინის ჰიდროქსიდი, კალციუმის კარბონატის მაღალდისპერსიული ნალექი, ცოცხალი ორგანიზმების და მცენარეების ნარჩენები.

ხსნად მდგომარეობაში გვხვდება ქრომატები და ბიქრომატები. ბუნებრივ წყლებში აერობულ პირობებში  $Cr(VI)$  მდგრადია და არსებობს ხანგრძლივი დროის განმავლობაში. ანაერობულ პირობებში  $Cr(VI)$  გადადის  $Cr(III)$ , რომელთა მარილები ნეიტრალურ და ტუტე არეში ჰიდროლიზდებიან ჰიდროქსიდების გამოყოფით. კომპლექსწარმომქმნელი არაორგანული და ორგანული ნივთიერებების არსებობა ბუნებრივ წყლებში ჰიდროლიზს ხელს უშლის.

სუფთა და მკირედ დაბინძურებული მდინარეების წყლებში ქრომის რაოდენობა შეადგენს მიკროგრამის რამდენიმე ათეული წილიდან რამდენიმე მიკროგრამამდე 1 ლიტრში. გაჭუჭყიანებულ წყლებში კი აღწევს რამდენიმე ათეულ და ასეულ მიკროგრამს 1 ლიტრში. ზღვის წყალი საშუალოდ შეიცავს 0,05 მკგ/ლ ქრომს, ხოლო მიწისქვეშა წყლები კი შეიცავს ქრომის დიდ რაოდენობას -  $n \cdot 10^6$  -  $n \cdot 10^2$  მკგ/ლ.

$Cr(VI)$  და  $Cr(III)$  ნაერთებს მაღალი კონცენტრაციის შემთხვევაში გააჩნიათ კანცეროგენული თვისებები. ზღკ  $Cr(VI)=0,1$  მგ/ლ, ზღკ  $Cr(III)=0,5$  მგ/ლ; არსებობს ქრომის ნაერთების განსაზღვრის სხვადასხვა მეთოდები. ფართო გამოყენება ჰქონდა ფოტოკოლორიმეტრიულმა მეთოდმა.

### ქრომის განსაზღვრა თვისებითი ანალიზის მეთოდით

I ქრომის საერთო რაოდენობის განსაზღვრა.

ანალიზის მსვლელობა:

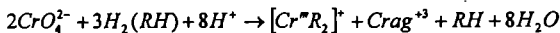
10 მლ წყლის სინჯს უმატებენ 1 მლ 30%-იან  $NaOH$ -ის ხსნარს და 1 მლ 3%-იან  $H_2O_2$ -ს, ნარეკს ადუღებენ 5 წუთის განმავლობაში. ცალკე სინჯარაში ამაზადებენ 2 მლ 3%-იან  $H_2O_2$ -ს, 1 მლ 30%  $H_2SO_4$ -ს და 2 მლ ეთერის ნარეკს, რომელსაც უმატებენ 1 მლ გაცივებულ I ნარეკს და ენერგიულად ურევენ (ანჯღრევენ). ქრომის არსებობისას ეთერის ფენა იღებება ლურჯად.

### $Cr(VI)$ -ის განსაზღვრა თვისებითი ანალიზით

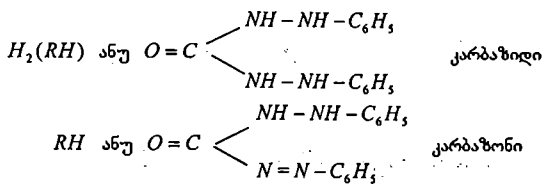
10 მლ განეიტრალებულ სინჯს უმატებენ 1 მლ განზავებულ (1:9)  $H_2SO_4$ , რამდენიმე წვეთ  $H_3PO_4$ , 0,5 მლ 0,5%-იან დიფენილკარბაზიდის აცეტონიან ხსნარს და ურევენ. 10 წთ-ის შემდეგ მოწითალო-ოიფერი შეფერილობა მიუთითებს  $Cr(VI)$  არსებობაზე, ხოლო  $Cr(III)$ -ის აღმოსაჩენად აწარმოებენ წინასწარ პერსულფატიტ დაჟანგვას.

### ქრომის განსაზღვრის ფოტომეტრული მეთოდი

ქრომატები და ბიქრომატები მჟავა არეში დიფენილკარბაზიდთან რეაგირებენ მოწითალო-ოიფერ კომპლექსური ნაერთების წარმოქმნით.



სადაც  $CrAg$  - ქრომის აქვა კომპლექსია.



### ანალიზის მსვლელობა

100 მლ მზომ კოლბაში ან ნესლერის ცილინდრში იღებენ 0,005-დან 0,1 მგრ-მდე ქრომის შემცველ გამჭვირვალე სინჯს, რომელსაც ანეიტრალებენ  $1N$   $NaOH$ -ის ხსნარით ან  $1N$   $H_2SO_4$ -ით (ტუტის ან მჟავას საჭირო რაოდენობას ადგენენ სინჯის გატიტრით). შემდეგ უმატებენ 1 მლ (1:1) განზავებულ  $H_2SO_4$ -ს 0,3 მლ  $H_3PO_4$ -ს, მოცულობა მიყავთ გამოხდილი წყლით 100 მლ-მდე და ურევინებ, შემდეგ უმატებენ 2 მლ დიფენილკარბაზიდის ხსნარს და ისევ ურევინებ. 5-10 წთ-ის შემდეგ საზღვრავენ ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივეს, ან აღარებენ სტანდარტულ ხსნარებს, რომლებიც დამუშავებულია იგივე მეთოდით. საკალიბრო მრუდის მიხედვით საზღვრავენ  $Cr$ -ის კონცენტრაციას.

### საკალიბრო მრუდის აგება

100 მლ-იან მზომ კოლბებში იღებენ სტანდარტულ II სამუშაო ხსნარის 0,0; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 20,0; 30,0; 40,0; 50,0 მლ, მოცულობა მიყავთ გამოხდილი წყლით 100 მლ-მდე, რის შედეგადაც ღებულობენ 0,0; 0,02; 0,04; ...; 1,0 მგ/ლ კონცენტრაციის სტანდარტებს. შემდეგ საზღვრავენ ოპტიკურ სიმკვრივეს, როგორც ზევით არის აღწერილი.

### რეაქტივები

რეაქტივების მოსამზადებლად გამოიყენება ბიდისტილატი ან გამოხდილი წყალი.

1.  $NaOH$  – ქიმიურად სუფთა ანალიზისათვის,  $1N$  ხსნარი. 40 გრ  $NaOH$  ხსნიან 1 ლ გამოხდილ წყალში;
2.  $H_2SO_4$  – ქიმიურად სუფთა ანალიზისათვის,  $1N$  ხსნარი, 28 მლ კონცენტრირებული  $H_2SO_4$ -ს ხსნიან 500 მლ გამოხდილ წყალში და მოცულობა მიყავთ 1 ლ-მდე.
3.  $H_2SO_4$  – ქიმიურად სუფთა ანალიზისათვის, განზავებული (1:1).
4.  $H_3PO_4$  – ქიმიურად სუფთა ანალიზისათვის, 85%-იანი, კონცენტრირებული.
5. დიფენილკარბაზიდი – 1% სპირტხსნარი.

0,50 გრ დიფენილკარბაზიდს (ქ.ს. ან) ხსნიან 50 მლ სპირტში. ხსნარს ინახავენ მუქი ფერის ჭურჭელში (ყავისფერი). თუ ხსნარი შეიფერება იგი გამოუსადეგარია.

6. ამონიუმის პერსულფატი – ქიმიურად სუფთა ანალიზისათვის, 0,1% ხსნარი ახლადდამზადებული.

7. სამქლორიანი ძმარმჟავა – IM ხსნარი.

163,5 გრ სამქლორიან ძმარმჟავას ხსნიან გამოხდილ წყალში და მოცულობა მიეყვით 1 ლ-მდე.

8.  $K_2Cr_2O_7$  – სტანდარტული ხსნარი.

ძირითადი ხსნარი:  $105^{\circ}C$ -ზე გამომშრალი 2,8285 გრ  $K_2Cr_2O_7$  (ქს. ან.) ხსნიან გამოხდილ წყალში და  $20^{\circ}C$ -ზე მოცულობა მიეყვით 1 ლ-მდე. 1 მლ. ხსნარი შეიცავს 1 მგ  $Cr$ -ს.

სამუშაო ხსნარი I:

25 მლ ძირითად ხსნარს გამოხდილი წყლით ანზავებენ 500 მლ-მდე. 1 მლ ხსნარი შეიცავს 0,050 მგ ქრომს.

სამუშაო ხსნარი II:

20 მლ (I) სამუშაო ხსნარს ანზავებენ გამოხდილი წყლით 500 მლ-მდე. იყენებენ ახლადდამზადებულ ხსნარს. 1 მლ ხსნარი შეიცავს 0,002 მგ ქრომს.

#### ხელისშემშლელი პირობები:

განსაზღვრას ხელს უშლის მაღალი კონცენტრაციის ( $200$  მგ/ლ-ზე მეტი)  $Hg_2^{2+}$  – და  $Hg^{2+}$  – იონები. დიფენილკარბაზიდთან შედინ რეაქციაში და იძლევიან ფერად ნაერთებს ვოლფრამი და  $Mo(VI)$ , თუმცა წყალში ისინი იშვიათად არიან. განსაზღვრას ასევე ხელს უშლის  $Fe(III)$  ( $1$  მგ/ლ), რომელთაგანაც საანალიზო ხსნარი იძლევა მოყავისფრო-მოყვითალო ფერის ნაერთებს. რკინის მოქმედების თავიდან აცილება შეიძლება  $H_3PO_4$ -ის დამატებით, რაც გათვალისწინებულია ანალიზის მსვლელობაში. დიდი რაოდენობის  $Mn$ -ის შემცველობისას მას უნდა გევენ წყალბადის ზეიანებით, რის შედეგადაც ილეება  $Mn$ -ის პიდროქსიდი, რომელსაც ფილტრავენ მინის ბაბით ან მინის გამფილტრავი ფირფიტით.  $Cr(VI)$ -ის განსაზღვრისას გასათვალისწინებელია ის გარემოება, რომ შესაძლებელია ქრომატებმა ან ბიქრომატებმა დაჟანგონ ზოგიერთი ნივთიერება სინჯის ალებიდან მის ანალიზამდე ინტერვალში, რაც მოქმედებს ანალიზის შედეგებზე.

დიდი რაოდენობის ხსნად ნივთიერებებზე ხელისშემშლელ გავლენას ახდენს მაღალი კონცენტრაციის  $Ca$ , რომელიც ანალიზის მსვლელობისას  $H_2SO_4$ -ის დამატებისას იძლევა შემფერვას სულფატების გამოყოფის შედეგად. ასეთ შემთხვევაში რეკომენდირებულია  $H_2SO_4$ -ის მაგიერად სამქლორიანი ძმარმჟავას გამოყენება.

ნეიტრალურ ან ტუტე წყლებში  $Cr(VI)$  და  $Cr(III)$  ცალკეული განსაზღვრა გამწვანებულია იმით, რომ  $Fe(II)$ -ის მარილების, სულფიტების, სხვა ორგანული ნივთიერებების, როგორც აღმდგენლების არსებობისას შემაჯავება იწვევს  $Cr(VI)$  აღდგენას  $Cr(III)$ -მდე.



ფერადი ორგანული ნივთიერებების არსებობისას  $Cr(VI)$ -ის ფოტომეტრული მეთოდით განსაზღვრა მაშინაც კი ძნელია, როდესაც წყალს აქვს მჟავა რეაქცია. ამ შემთხვევაში საზღვრავენ  $Cr$ -ის საერთო რაოდენობას.

აპარატურა:

ფოტოკოლორიმეტრი, მწვანე შუქფილტრი ( $\lambda=540$  ნმ) კიუვეტი 1-5 სმ სისქის ან 100 მლ-იანი ნესლერის ცილინდრები.

ანგარიში:

$Cr(VI)$  და ქრომის საერთო რაოდენობას საზღვრავენ შემდეგი ფორმულით

$$x = \frac{C \cdot 100}{v}$$

სადაც  $C$  – საკალიბრო მრუდით განსაზღვრული  $Cr$ -ის კონცენტრაციაა (ან სტანდარტულ ხსნარებთან შედარებით) მგ/ლ;

100 – განზავებული სინჯის მოცულობა, მლ.

$v$  – განსაზღვრავი სინჯის მოცულობა, მლ.

რეზულტატების დამრგვალება

დიაპაზონი, მგ/ლ 0,005-1,000; 0,10-0,20; 0,20-0,50; 0,50-1,0.

დამრგვალება, მგ/ლ 0,005; 0,01; 0,02; 0,05.

ქრომის განსაზღვრა ატომური სპექტროფოტომეტრული მეთოდით

პერიოდული სისტემის მე-4 – მე-7 ჯგუფის ელემენტებიდან ალში აღიგზნება მხოლოდ ტყვია, მანგანუმი და ქრომი. ქრომის განსაზღვრა ხდება უფრო დაბალი მგრძნობიარობისას, ვიდრე მანგანუმის. ქრომის მკვეთრი სპექტრული ზაზი გამოისახება იისფერი ტრიპლეტით 425,4 ნმ-ზე, რომელიც ახლოს მდებარეობს კალციუმის ტალღის სიგრძესთან – 422,7 ნმ. ეს ხელს უშლის ქრომის განსაზღვრას დაბალი დისპერსიის მქონე ხელსაწყოთი, ამიტომ ანალიზი უნდა ჩატარდეს მხოლოდ საშუალო დისპერსიის მქონე მონოქრომატორებით, სასურველია სკანირების მეთოდი. ამ შემთხვევაში შესაძლებელია ქრომის მთელი ტრიპლეტის ჩაწერა, რომელიც მოიცავს 2 სხვადასხვა ტალღის სიგრძის ზაზს – 427,5 და 429,0 ნმ.

ქრომის სპექტრის აღსაგზნებად გამოიყენება მაღალტემპერატურული ალი აცეტილენ-ჰაერი ან წყალბადი-ჟანგბადი და პირდაპირი მოქმედების მფრქვევანა-სანთებლები.

ქრომის ქვეყნის ყველა ელემენტი წარმოქმნის ალში აეროზოლის აორთქლებისას თერმომდგრად ნაერთებს. ამ ჯგუფის სამივე ელემენტის ატომიზაციის შემაფერხებელი ფაქტორები სხვადასხვაა. ქრომის ოქსიდები ორთქლდებიან მაღალ ტემპერატურაზე, გადადიან რა აირად ფაზაში, შედარებით ადვილად ატომიზირდებიან. ქრომის ნაერთების ატომიზაციისათვის საკმარისია აცეტილენ-ჰაერის ალის ტემპერატურა, რომლის საშუალებითაც შეიძლება განისაზღვროს უმცირესი რაოდენობის ქრომი, რაც აღინიშნება ქრომის სპექტრში რამდენიმე მკვეთრი ხაზის არსებობით: ქრომის განსაზღვრისას მხედველობაში მიიღება ის, რომ ანალიზის შედეგებზე მოქმედებს ხსნარში მისი იონური მდგომარეობა, ასევე რიგი ელემენტების არსებობა: როგორცაა რკინა. თუმცა მათი ზეგავლენა შეიძლება თავიდან იქნას აცილებული თუ შესადარებელ ან საანალიზო ხსნარებს დაუმატებენ 5%-მდე მარილმჟავას. ამასთანავე  $Cr^{+6}$  ადგება  $Cr^{+3}$ -მდე. დაუმატებენ რკინის ზეგავლენის ასაცილებლად ხსნარს უმატებენ 2-3% ამონიუმის ქლორიდს. ექსპერიმენტებით დადგენილია, რომ საანალიზო ხსნარზე ალუმინის ქლორიდის ან ნიტრატის (500 მკგ/მლ) დამატებით იზრდება ანალიზური სიგნალი 2-ჯერ. ამასთანავე ხსნარის გავლენა პრაქტიკულად სრულიად მცირდება, თუ დამატებით დაემატება 5% კონცენტრაციამდე ორთოფოსფორმჟავას და მარილმჟავას. ქრომის განსაზღვრისათვის შესადარებელი საწყისი ხსნარი (1000 მკგ/მლ მეტალის მიხედვით) მზადდება შემდეგნაირად: 1) 3,735 გ  $K_2CrO_4$ -ს ან 3,762 გ  $K_2Cr_2O_7$ -ს ხსნიან 1 ლ 5%-იან მარილმჟავაში, რომელსაც ასევე იყენებენ შესადარებელი სამუშაო ხსნარების დასამზადებლად. 2) 2,8289 გრ  $K_2Cr_2O_7$ -ს ხსნიან 200 მლ გამოხდილ წყალში, უმატებენ 1,5 მლ კონცენტრირებულ  $HNO_3$ -ს და ანაზებენ 1000 მლ-მდე გამოხდილი წყლით. 1 მლ ხსნარი შეიცავს 1 მგ  $Cr$ -ს.

ცხრილი 9

ატომურ-აბსორბციული ანალიზის ძირითადი მეთოდური მახასიათებლები

ელემენტი	საანალიზო სპექტრალური ხაზის ტალღის სიგრძე, ნმ	საანალიზო სპექტრალური ხაზის მაქსიმუმი ნმ	ალის ტიპი	ზედა ზღვრის ენერგია, ევ	მახასიათებელი კონცენტრაცია მკგ/მლ	ოპტიმალური შემცველობის დიაპაზონი, მკგ/მლ	განსაზღვრის საზღვრები		განსაზღვრის ხელის-შემშლელი სპექტრალური ხაზის ტალღის ხაზის მაქსიმუმი
							ორსიხიანი ხელსაწყო	ერთსიხიანი ხელსაწყო	
Cr	357,87 359,35	429,0 427,5 425,4	აცეტი- ლენ- ჰაერი	2,9	0,1 0,2	1-20	0,003	0,03	Ca-422,7

## 2.5. ჩამდინარე წყლის გაწმენდა კოაგულაციის მეთოდით

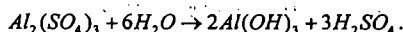
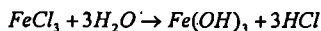
კოაგულაცია არის დისპერსიული ნაწილაკების გამსხვილების პროცესი მათი ურთიერთქმედებისა და აგრეგატებად გაერთიანების შედეგად. ჩამდინარე წყლის გაწმენდას მას იყენებენ წვრილდისპერსიული მინარეებისა და ემულგირებული ნივთიერებების დალეკვის პროცესის დასაჩქარებლად. კოაგულაცია ეფექტურია წყლიდან 1-100 მკ ზომის ნაწილაკების, ე.ი. კოლოიდურ-დისპერსიული ნაწილაკების მოსაცილებლად. კოაგულაცია შესაძლებელია წარმართოს თავისთავად, ან ქიმიური და ფიზიკური პროცესების ზეგავლენით. ჩამდინარე წყლების კოაგულაციით გაწმენდა ხდება სპეციალური ნივთიერებების - კოაგულანტების დამატებით. კოაგულანტები წყალში წარმოქმნიან მეტალთა ჰიდროქსიდების „ფანტლებს“, რომლებიც სიმძიმის ძალით სწრაფად ილექებიან. ფანტელს აქვს კოლოიდური და შეწონილი ნაწილაკების შეკავებისა და მათი აგრეგირების უნარი. ვინაიდან კოლოიდურ ნაწილაკებს აქვთ სუსტი უარყოფითი მუხტი, ხოლო კოაგულანტის „ფანტელს“ კი სუსტი დადებითი მუხტი, ამიტომ მათ შორის აღიძვრება ურთიერთმიზიდულობის ძალა.

კოლოიდური ნაწილაკი წარმოადგენს ჩამდინარე წყალში შემავალი დისპერსიულ მდგომარეობაში მყოფი მრავალი ნივთიერების მოლეკულების ერთობლიობას. კოლოიდური ნაწილაკებს აქვთ დიდი ზედაპირითი ზედაპირი, ამიტომ ისინი უპირატესად აღსორბირებენ წყალში მყოფ ერთ ნიშნთან იონებს. ამით მნიშვნელოვნად მცირდება კოლოიდური ნაწილაკის თავისუფალი ზედაპირული ენერჯია. ბირთვთან უშუალოდ მიმდებარე იონები წარმოქმნიან ზედაპირულ-ბირთვულ იონთა შრეს ანუ ე.წ. აღსორბციულ შრეს. ამ შრეში შესაძლებელია იმყოფებოდეს, აგრეთვე, საწინააღმდეგოდ დამუხტული იონები, რომელთა ჯამური მუხტი არაკომპენსირებს ზედაპირულ-ბირთვული იონების მუხტს. ვინაიდან აღსორბციული შრის საზღვარზე წარმოიქმნება ელექტრული მუხტი გრანულის ირგვლივ (ბირთვი აღსორბციული შრით) წარმოიქმნება დიფუზიური შრე, რომელშიც იმყოფება დარჩენილი გრანულის მუხტის მაკომპენსირებელი საწინააღმდეგოდ დამუხტული იონები.

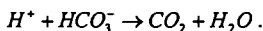
გრანულას დიფუზურ შრესთან ერთად უწოდებენ მიცელას. ბირთვის საზღვარზე პოტენციალი-თერმოდინამიკური პოტენციალი (ε-პოტენციალი) - ტოლია ყველა ზედაპირულ-ბირთვული იონების მუხტების ჯამისა. აღსორბციული ფენის საზღვარზე პოტენციალი აღსორბციულ შრეში მყოფი საწინააღმდეგოდ დამუხტული იონების მუხტების ჯამის ტოლი სიდიდით მცირდება. აღსორბციული ფენის საზღვარზე პოტენციალს უწოდებენ ელექტროკინეტიკურ პოტენციალს (ζ-პოტენციალი). კოლოიდურ ნაწილაკებზე მოქმედებენ დიფუზიური ძალები და ამიტომ ნაწილაკები თანაბრად ნაწილდებიან თხევადი ფაზის მოცულობაში.

ერთნიშნაანი ელექტრულ მუხტიანი ნაწილაკები განიზიდებიან. ამავე დროს კოლოიდურ ნაწილაკებს შორის მოქმედებს მოლეკულათშორისი მიზიდულობის ძალა, რომელიც აღიძვრება ნაწილაკებს შორის მცირე მანძილზე. ნაწილაკის ელექტრული მუხტის შემცირებისას, ე.ი.  $\zeta$ -პოტენციალის შემცირებისას განზიდვის ძალები მცირდება; რის შედეგადაც ხდება ნაწილაკების შეწყება - კოლოიდების კოაგულაციის პროცესი. კოლოიდურ ნაწილაკებს შორის ურთიერთმიზიდვის ძალები აღმატებიან განზიდვის ელექტრულ ძალებს მაშინ, როდესაც სისტემის  $\zeta$ -პოტენციალი ნაკლებია 0,03 ვოლტისა, როდესაც  $\zeta$ -პოტენციალი ნულის ტოლია, კოაგულაცია მიმდინარეობს მაქსიმალური ინტენსიურობით. ამ შემთხვევაში კოლოიდური სისტემის მდგომარეობას უწოდებენ იზოელექტრულს, ხოლო pH-ის სიდიდეს კი სისტემის იზოელექტრულ წერტილს.

სამრეწველო ჩამდინარე წყლის კოაგულაციით გაწმენდის ძირითად პროცესს წარმოადგენს პეტეროკოაგულაცია - ჩამდინარე წყლის კოლოიდური და წერილდისპერსიული ნაწილაკების ურთიერთქმედება აგრეგატებთან, რომლებიც წარმოიქმნება კოაგულანტების წყალში შეყვანისას. კოაგულანტებად გამოიყენება რკინის, ალუმინის, მანგანუმის სულფატები და ქლორიდები, რომელთა პიდროლიზით წარმოიქმნება წყალში მცირედ ხსნადი პიდროსიდიები:



პიდროლიზის პროცესისას წარმოიქმნილი გოგირდის მჟავას და მარილმჟავას განეიტრალება ხდება კირით ან ტუტით, ასევე ჩამდინარე წყლის ტუტოვანი რეზერვის ხარჯზე:



კოაგულანტების ხარჯის შესამცირებლად საჭიროა კოაგულაციის პროცესი ჩატარდეს pH-ის ოპტიმალური სიდიდის დიაპაზონში. კოაგულაციის pH-ის ოპტიმალური სიდიდე  $Al(OH)_3$ -თვის არის 4,5-7;  $Fe(OH)_2$ -თვის - 8,5-10,5;  $Fe(OH)_3$ -თვის - 4-6 და 8-10.

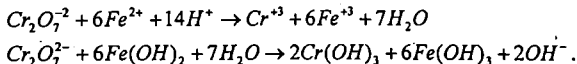
კოაგულაციის სიჭარბე და მოკიდებულია ელექტროლიტის კონცენტრაციაზე.

კოაგულაციის მეთოდი ფართოდ გამოიყენება ქიმიური, ნავთობქიმიური, ნავთობ-გადამამუშავებელი, ცელულოზა - ქაღალდის, მსუბუქი, საფეიქო გალვანური დაფარებისა და სხვა დარგის მრეწველობის საწარმოთა ჩამდინარე წყლის გასაწმენდად. კოაგულაციით გაწმენდის ეფექტურობა და მოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე: კოლოიდური ნაწილაკის სახეობაზე, მათ კონცენტრაციაზე და დისპერსიულობის ხარისხზე, ჩამდინარე წყალში ელექტროლიტისა და სხვა მინარეების არსებობაზე, ელექტროკინეტიკური პოტენციალის, სიდიდის, pH-ზე, ტემპერატურაზე, შერევის ინტენსივობაზე კოაგულანტებისა და ფლოკულანტების შეყვანის თანმიმდევრობაზე. ფლოკულანტის დოზად მიღებულია 0,1-10 გ/მ<sup>3</sup>, საშუალოდ 0,5-1 გ/მ<sup>3</sup>.

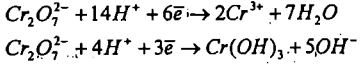
ფლოკულაცია არის ჩამდინარე წყალში მაღალმოლეკულური ნივთიერებების ე.წ. ფლოკულანტების დამატებისას შეწონილი ნაწილაკების აგრეგაციის პროცესი. კოაგულანტებისაგან განსხვავებით აგრეგაციული ფლოკულაცია ხორციელდება არა მარტო ნაწილაკთან უშუალო კონტაქტით, არამედ ფლოკულანტების ნაწილაკებზე ადსორბირებულ მოლეკულებთან ურთიერთქმედების შედეგად. ფლოკულაცია წარმოებს რკინისა და ალუმინის ჰიდროქსიდების ფანტელების წარმოქმნის პროცესის ინტენსიფიკაციისათვის და მათი დალექვის სიჩქარის ამაღლებისათვის. ფლოკულანტების გამოყენება ამცირებს კოაგულანტების დოზასა და კოაგულაციის პროცესის ხანგრძლივობას. ფლოკულანტებიდან გამოყენებულია ბუნებრივი და სინთეტიკური ფლოკულანტები. ბუნებრივი ფლოკულანტებია: სახაშველი, ეთერი, ცელულოზა, დექტრინი და ა.შ. გავრცელებული არაორგანული ფლოკულანტია აქტიური სილიციუმის ორჟანგი ( $xSiO_2 \cdot yH_2O$ ), ხოლო სინთეტიკური ორგანული ფლოკულანტია პოლიაკრილამიდი ( $-CH_2-CH-CONH_2$ )<sub>n</sub>.

ჩამდინარე წყლის გაწმენდის ეფექტურ მეთოდს წარმოადგენს ელექტროკოაგულაცია, რომელიც შესაძლებელია განხორციელდეს ელექტრული დენის წყვეტილი მიწოდებისას და გადაპოლუსებისას. გაღებური წარმოების ჩამდინარე წყლის გასაწმენდად ფართოდ გამოიყენება ელექტროკოაგულაცია. გამაჭუჭყიანებელი ნივთიერებების შემცველობის მიხედვით ჩამდინარე წყალი იყოფა: 1) ტუტოვანი, რომელიც მიიღება ნაკეთობების გაუცხიშობის შედეგად. 2) მჟავერი, რომელიც მიიღება ნაკეთობების წინასწარ ამოჭმისას, მჟავერი მოსპილენძების, ნიკელირების, მოთუთების შედეგად. 3) ციანშემცველი, რომელიც მიიღება ქრომირების, პასივაციის, ქრომიკში ამოჭმის და სხვა ოპერაციების შედეგად. 4) ქრომშემცველი, რომლის მიიღება ქრომირების პროცესის, პასივაციის, ქრომიკში ამოჭმისა და სხვა პროცესების შედეგად. 5) ფტორშემცველი, რომელიც მიიღება ამოჭმის პროცესისა და მოკალვის შედეგად.

ექსვალენტნიანი ქრომისა და სხვა მძიმე მეტალთა იონების ნაერთების შემცველი ჩამდინარე წყლის გასაწმენდად გამოიყენება ელექტროკოაგულაცია.  $Cr^{+6}$  იონების ელექტროქიმიური აღდგენა ხდება ხსნადი რკინის ანოდებით, აგრეთვე რკინის ჰიდროქსიდით  $Fe(OH)_2$  -ით, რომელიც წარმოიქმნება დასამუშავებელ წყალში  $Fe^{+2}$  და  $OH^-$  -იონების ურთიერთქმედებისას როდესაც  $pH \geq 5,5$ . ამ დროს მიმდინარეობს შემდეგი რეაქცია:



დამატებით მიმდინარეობს ქრომის იონის აღდგენის კათოდური ელექტროქიმიური პროცესები



ელექტროკოაგულაციის ოპტიმალური ტექნოლოგიური რეჟიმის შერჩევისათვის საჭიროა

სტექნოლოგიური თანაფარდობის მიხედვით საწყისი  $Cr^{6+}$ -ის შემცველობისა და რკინის ხარჯის განსაზღვრა ფარადის კანონის შესაბამისად. ელექტროობის თეორიული რაოდენობით ( $q_2^T$ ).  $Cr^{6+}$  და მძიმე მეტალთა იონების ერთდროულად თანაობისას  $q_2$  განისაზღვრება ამ კომპონენტების საწყისი კონცენტრაციებითა და ჩამდინარე წყლის ხარჯით.

1 მგ  $Cr^{6+}$  -ის აღდგენაზე დახარჯული ელექტროობის რაოდენობა არსებითად დამოკიდებულია დასამუშავებელი წყლის საწყის pH-ზე. ამ სიდიდეთა მონაცემები მოცემულია შემდეგ ცხრილში:

pH	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
$q_2$ , კლ/(მგ.ლ)	7-9	13-15	17-19	19-21	21-23	23-25

საწყისი წყლის pH-ის შემცირებისას 7,0-დან 3,0-3,5-მდე  $q_2$  მცირდება 1,3-1,5-ჯერ. ეს საშუალებას იძლევა მეფური რეზერვი იქნას გამოყენებული ქრომის აღსადგენი ელექტროენერჯის ხარჯის შესამცირებლად.

რეკომენდირებული დენის ანოდური სიმკვრივე კონცენტრირებული ხსნარისათვის შეადგენს 0,6-1,5 ა/დმ<sup>2</sup>, ხოლო მცირედ კონცენტრირებულისათვის (<100 მგ/ლ) კი - 0,15-0,8 ა/დმ<sup>2</sup>.

ელექტროლიზის დროს ხდება დასამუშავებელი ხსნარის შეტუტვა. ამიტომ წყალბადის იონების კონცენტრაცია, ასევე აირადი - წყალბადის ელექტროქიმიური გამოყოფა მცირდება, რაც უზრუნველყოფს ქრომისა და რკინის ჰიდროქსიდების კოაგულაციას ფანტელების სახით, რომელზედაც აღსობირდება ჩამდინარე წყალში შემავალი სხვა მინარევებიც. pH სიდიდის ნამატი შეადგენს 1-4 ერთეულს, რაც დამოკიდებულია  $Cr^{6+}$  საწყის კონცენტრაციაზე და არის საწყის აქტიურ რეაქციაზე.

წარმოქმნილ მეტალთა სრული სუფიქსიციისათვის საჭირო ოპტიმალური პირობების შესაქმნელად ახდენენ ჩამდინარე წყლის აქტიური რეაქციის კორექტირებას ელექტროკოაგულაციური დამუშავების შემდეგ pH=8-10-მდე.

ჩამდინარე წყლის ელექტროკოაგულაციური გაწმენდის პრინციპიალური სქემა მოიცავს ელექტროლიზორს ხსნადი ანოდებით, რომელიც აღჭურვილია გამწოვი ვენტილაციით. 2) საცავს, ან pH-ის მაკორექტირებელ აპარატს, 3) ასევე წყლის გამაქამებელ ნაგებობას, 4) ხსნარის ელექტროდამუშავება, ხდება ფირფიტოვან ელექტროლიზორში გასაწმენდი ხსნარის ქვევიდან ზევით შეყვანით. ელექტროდებს შორის მანძილია 6-12 მმ, ელექტროდების სისქეა 3-8 მმ. ანოდური და კათოდური ფართობთა თანაფარდობაა 1:1, წყლის სიჩქარეა 1-2 მ/წთ, 5) წარმოქმნილი ჰიდროქსიდების ნალექის მოცილება ხდება სალექარებში, ფლოტატორ-სალექარში, ფლოტატორი-გამაქამებელში.

ნალექის მოცულობის შესამცირებლად დასაბუშავებელ წყალში უმატებენ 30 მგ/ლ პოლიაკრილამიდის ხსნარს.

ხსნარის გაწმენდა წარმოებს ქეიშაქურ და ქაფპოლისტიროლურ ფილტრებზე, ელექტროფლოტატორზე, იონგამცვლელ ფილტრებზე გაუმარილოებით.

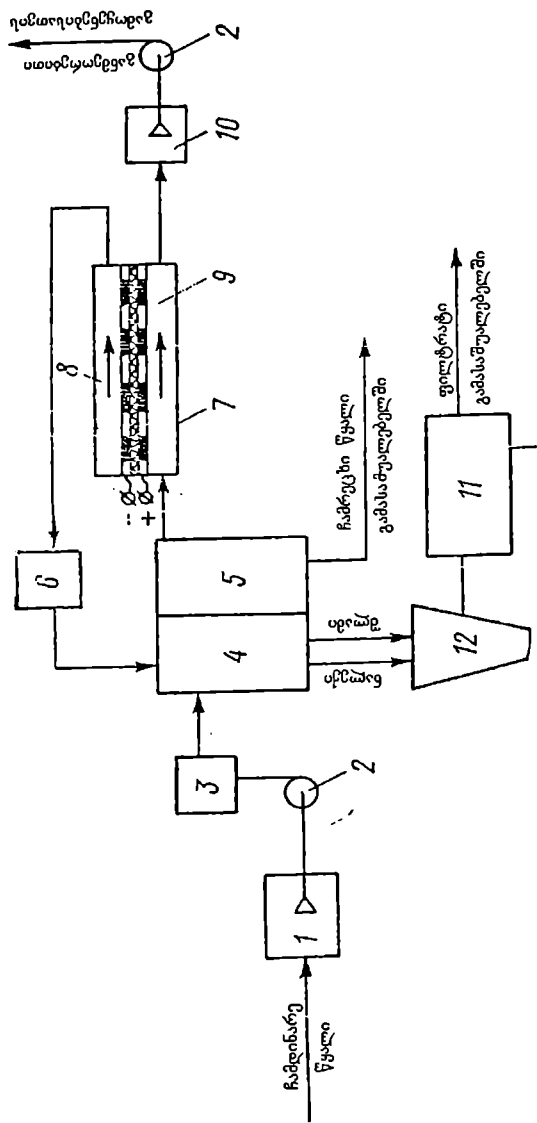
მოქროშვის ტექნოლოგიური პროცესის ჩამდინარე წყლის გაწმენდის ტექნოლოგიური პროცესის სქემა.

გაღწერილი სააქროდან მიღებულ ჩამდინარე წყალი მიეწოდება (1) გამასაშუალებელს, სადაც 3-5 საათის განმავლობაში ხდება მისი ელექტროგამტარებლობის სტაბილურობა და შემადგენლობის პომოგენიზაცია. შემდეგ (2) ტუმბოს საშუალებით ჩამდინარე წყალი გადადის (3) ელექტრორეაქტორში, სადაც ანოდის ზედაპირიდან ხსნარში გამოიყოფა  $Fe^{2+}$ , რომელიც აღადგენს  $Cr^{6+}$ -ს  $Cr^{3+}$ -მდე. ასევე ხდება სითხის გაჯერება კათოდზე წარმოქმნილი წყალბადის ბუშტულებით. (4) ფლოტატორ-გამაკამკამებელში მყარი და თხევადი ფაზის განცალკევება წარმოებს ჰიდროქსიდების ფანტელის და მათი ფლოტაციით წარმოქმნილი ელექტროლიტური წყალბადის საშუალებით. დარჩენილი ტიფტივარს, რომელიც ეერ გამოიყო ფლოტატორ-გამაკამკამებელში, აკავებენ (5) ფილტრზე. მძიმე მეტალების იონებისაგან გაწმენდილ წყალს, რომლის pH=9,8-10,8, აწვდიან ელექტროლიზირის (9) ანოდურ კამერას ნეიტრალიზაციისათვის, კათოლიტისა და ანოლიტის ხარჯების თანაფარდობის გათვლით მიღებულ ნაწილ წყალს (1,2-1,6):(8,8-8,4) აწვდიან (8) კათოდურ კამერას.

ანოდურ კამერაში წყალი შემჟავდება pH=7,5-8-მდე, შემდეგ ანოლიტი (წყლის საერთო ხარჯის 84-88%) შედის (10) შუალედურ საცავში, საიდანაც 2' ტუმბოს საშუალებით კვლავ აბრუნებენ მეორადი გამოყენებისათვის. კათოდურ კამერაში წყალს დამატებით შეტუტავენ pH=11,5-11,6-მდე, რის შემდეგაც ტუტოვანი კათოლიტი (წყლის საერთო ხარჯის 12-16%) შედის (6) ავზში, საიდანაც ღოზირებით აწვდიან (4) ფლოტატორ-გამაკამკამებელს, აქ მეტალთა ჰიდროქსიდები იღვქება. შლამს აქვს დაბალი კუთრი წინაღობა და ადვილად გაუწყლოვდება.

ფლოტატორ-გამაკამკამებელში წარმოქმნილი ნალექი და შლამი პერიოდულად მიეწოდება (12) ლამგამამკერივებელს და შემდეგ (11) ვაკუუმფილტრზე გაუწყლოვდება. ვაკუუმფილტრის ჩარეცხვის შემდეგ წყალი უბრუნდება გამასაშუალებელს საწყის წყალთან ერთად მეორადი გაწმენდისათვის. ძირითადი პარამეტრებია: ელექტრორეაქტორში  $i_s=30-40$  ა/მ<sup>2</sup>,  $v_s=9-12$  ვ,  $q_s=14-19$  კლ/1 მგ  $Cr^{6+}$ ,  $W_{კლ}=0,3-1,0$  კეტ-სტ/მ<sup>3</sup>; ფლოტატორ-გამაკამკამებელში:  $i_{გამკამ}=30-40$  წთ,  $v_s=1,8-1,0$  მ/სთ, ჩარეცხვის ინტენსივობა 20-25 ლ-ს-1-მ<sup>2</sup>; ელექტრორეაქტორში  $i=30-50$  ა/მ<sup>2</sup>,  $v_s=12-24$  ვ,  $D_r=250-180$  კლ/ლ,  $W_{კლ}=0,5-1,0$  კეტ-სტ/მ<sup>3</sup>, pH<sub>კათ.</sub>=11,2-11,8, pH<sub>ან.</sub>=6,5-8,2.

ჩამდინარე წყლის ელექტროკოაგულაციის მეოთხით გაწმენდის ტექნოლოგიური პროცესის სქემა



ნახ. 2. კოაგულაცია



ჩამდინარე წყლის გაწმენდა ლაბორატორიულ პირობებში

1 ლ ჩამდინარე წყალს ასხავენ ელექტროკოაგულატორში. რკინის ელექტროდების საშუალებით  $Cr^{+6}$  იონები აღდგება  $Cr^{+3}$  იონებად, რაც ვიზუალურად აისახება მოყვითალო - ნარინჯისფერის მომწვანო ფერში გადასვლით. დაყოვნების შემდეგ წარმოიქმნება ნალექი.

გაწმენდამდე და გაწმენდის წინ ჩამდინარე წყალში განისაზღვრება დამაბინძურებელ ნივთიერებათა იონთა შემცველობა. გაწმენდის ხარისხი გამოითვლება ფორმულით:

$$\eta = \frac{(C_{\text{აწ}} - C_{\text{სა}})}{C_{\text{აწ}}} \cdot 100 (\%).$$

## ლიტერატურა

### ძირითადი

1. Государственный контроль качества воды. Москва, 2001.
2. Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, бактериальной и ИПК. Издательство стандартов. радиальной безопасности по международным стандартом. Москва, 2000.
3. ლ. გვერდწითელი, ლ. მასხარაშვილი, ნ. მახარობლიშვილი. კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენება გარემოს ვაკუუციანების ანალიზური შეფასების შედეგების დამუშავებისა და სიზუსტის ასამაღლებლად. (მეთოდური მითითება). თბილისი, 1998.
4. Унифицированные методы исследования качества вод. Часть I. Основные методы. 1992. Основные методы. 1992. Совет экономической взаимопомощи. Москва.
5. С.В. Яковлев, Я.А. Карелин и др. Водоотводящие системы промышленных предприятий. 1990. Москва, стройиздат.

### დამხმარე

6. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленность сточных вод. Москва, «Химия», 1984.
7. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Гидрометеиздат, Ленинград, 1987.
8. А.И. Родионов, В.Н. Клушин, Н.С. Торочешников. Техника защиты окружающей среды. 1989. Москва, химия.

შესავალი .....	3
<b>თავი 1. აზოტოვანი მარილების წარმოებისა და ქლორფე- ცველი ჩამდინარე წყლის კონტროლი და გაწმენდის ტექნოლოგიური პროცესის სქემის დამუშავება ელექტროდიალიზის მეთოდის გამოყენებით</b> .....	4
1.1. ქლორიდების განსაზღვრა .....	4
1.2. სულფატების განსაზღვრა .....	10
1.3. ნიტრიტებისა და ნიტრატების განსაზღვრა .....	15
1.4. საერთო აზოტის განსაზღვრა ამიაკად გადაყვანის შემდეგ .....	25
1.5. ამონიუმის იონის განსაზღვრა .....	26
1.6. საერთო აზოტის განსაზღვრა .....	31
1.7. ჟანგბადის ქიმიური მოხმარება .....	32
1.8. ჟანგბადის ქიმიური მოხმარების (ჟქმ) განსაზღვრა ბიქრომატული მეთოდით .....	37
1.9. სიხისტის განსაზღვრა .....	40
1.10. აზოტოვანი მარილების წარმოების ჩამდინარე წყლის გაწმენდა ელექტროდიალიზის მეთოდით იონგაცვლითი მემბრანების გამოყენებით .....	45
<b>თავი 2. დამცავ დეკორატიული დაფარვების საამქროს ბრწყინვალე ქრომის ტექნოლოგიური პროცესის შედგებად მიღებული ჩამდინარე წყლის კონტროლი და გაწმენდის ტექნოლოგიური პროცესის სქემის დამუშავება ელექტროკოაგულაციის მეთოდის გამოყენებით</b> .....	51
2.1. კარბონატების, ჰიდროკარბონატების და ტუტიანობის განსაზღვრა .....	53
2.2. ფოსფატების განსაზღვრა .....	58
2.3. სილიციუმის განსაზღვრა .....	64
2.4. ქრომის განსაზღვრა .....	69
2.5. ჩამდინარე წყლის გაწმენდა კოაგულაციის მეთოდით .....	75
<b>ლიტერატურა</b> .....	82

**იპოქლება ავტორთა მიერ წარმოდგენილი სახით**

გაღეცა წარმობას 01.10.2007. ხელმწერილია დასაბეჭდად 22.10.2007. კალაღის ზომა 60X84 1/8. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 3. ტირაჟი 100 ეგზ.



