

ნათია მახარობლიძე

ნავთობ- და ცხიმშემცველი ჩამდინარი წყლების გაწმენდის  
ეფექტური მეთოდის შემუშავება აქტიური გამფილტრავი ქიმიური  
ადსორბენტების გამოყენებით

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
თბილისი, 0175, საქართველო  
თვე, 2008

© საავტორო უფლება „ნათია მახარობლიძე, 2008“

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

## სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით მახარობლიძე ნათიას მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: ნავთობ- და ცხიმშემცველი ჩამდინარი წყლების გაწმენდის ეფექტური მეთოდის შემუშავება აქტიური გამფილტრავი ქიმიური ადსორბენტების გამოყენებით და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი ტმდ., პროფ. ზაურ ციხელაშვილი

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2008

ავტორი:	ნათია მახარობლიძე
დასახელება:	ნავთობ- და ცხიმშემცველი ჩამდინარი წყლების გაწმენდის ეფექტური მეთოდის შემუშავება აქტიური გამფილტრავი ქიმიური ადსორბენტების გამოყენებით
ფაკულტეტი :	სამშენებლო ფაკულტეტი
აკადემიური ხარისხი:	დოქტორი
სხდომა ჩატარდა:	თარიღი

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

---

ავტორის ხელმოწერა

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

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

## რეზიუმე

სადისერტაციო ნაშრომი სტრუქტურისა და მოცულობის მიხედვით შედგება:

შესავლის, ოთხი თავის, დასკვნისა და 68 დასახელების ლიტერატურის ნუსხისაგან, მათ შორის 10 ნახაზი და 40 ცხრილია.

პირველი თავი ეძღვნება ჩამდინარი წყლების ანალიზს სხვადასხვა მაჩვენებლების მიხედვით, რომელიც მოიცავს ბუნებრივი და ჩამდინარი წყლების ქიმიურ შედგენილობას, კლასიფიკაციას, შემცველი ნივთიერებების გავლენას წყალსატევების (მდინარეების, ტბების და სხვ.) სანიტარულ რეჟიმზე. აგრეთვე მოიცავს ჩამდინარი წყლების გაწმენდის ზოგად მეთოდებსა და პრინციპებს. მათ შორის ნავთობპროდუქტებით დაბინძურებული წყლების გაწმენდის საკითხებს.

მეორე თავში განხილულია ადსორბციის ფიზიკურ-ქიმიური დახასიათება და მათი გამოყენების შესაძლებლობები ნავთობ- და ცხიმშემცველი ჩამდინარი წყლების გაწმენდაში, ადსორბციული გაწმენდის ძირითადი სქემები ცეოლიტების გამოყენებით, აგრეთვე გამფილტრავი მასალის სახით დახასიათებულია პერლიტის ნედლეული.

მესამე თავში წარმოდგენილია სამეცნიერო-კვლევითი ექსპერიმენტები გამფილტრავ მასალად პერლიტის გამოცდაზე, როგორც ნავთობ- და ცხიმშემცველი ჩამდინარი წყლების გაფილტვრა-გაწმენდის საშუალება. კერძოდ, ჩატარებულია ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა სერიები პერლიტის ნედლეულის გამფილტრავი უნარის დასადგენად მანქანის ზეთითა და თხევადი ცხიმით დაბინძურების შემთხვევაში. შესაბამისად დამუშავდა (მათემატიკურ-სტატისტიკური მეთოდების გამოყენებით) ექსპერიმენტული დაკვირვების მონაცემთა შედეგები და შედგენილ იქნა რეგრესიული ტიპის მოდელები.

მეოთხე თავში მოყვანილია ნავთობ- და ცხიმშემცველი ჩამდინარი წყლების დაბინძურების ხარისხის შეფასება, პროგნოზირება და ღონისძიებები წყალარინების სისტემის ეკოლოგიური უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად. ამ მიზნით შედგენილია სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების დაბინძურების ხარისხის შეფასებისა და პროგნოზირების დესკრიფციული მოდელები. აგრეთვე ნავთობ- და ცხიმშემცველი პროდუქტებით დაბინძურებული სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად შემუშავებულია მოწყობილობა სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტებზე (ავტოსამრეცხაოები, რესტორნები და სხვ.) გამოსაყენებლად. გამოკვლეულია წყალარინების საინჟინრო სისტემების ფუნქციონირების ხარისხის მახასიათებლები (საექსპლუატაციო საიმედობა, უსაფრთხოება, რისკის ფაქტორი) და მათი გავლენა ჩამდინარი წყლების გაწმენდი სადგურის მუშაობის პირობების გასაუმჯობესებლად.

საერთაშორისო გამოცდილების თანახმად ჩამდინარი წყლების გაწმენდის მსოფლიო პრაქტიკით, წყლის გაწმენდის სათანადო ხარისხის მიღწევა ზოგადად შესაძლებელია გაწმენდის თანამედროვე ტექნოლოგიური სქემების დანერგვით, რომლებშიც გარკვეულწილად იყენებენ სორბციულ პროცესებს. ცნობილია აგრეთვე ნავთობ- და ცხიმშემცველი მოტივტივემინარეებიანი სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების გაწმენდის ტექნოლოგიები, რომლებიც დამყარებულია დალექვისა და გაფილტვრის მეთოდის გამოყენებაზე. ჩამდინარი წყლების

გაწმენდის აღნიშნული ტექნოლოგიების გამოყენება, ჯერერთი, ძვირია და მეორეც, მოუხერხებელია ლოკალური ტიპის ობიექტებისათვის. ამასთან, აღსანიშნავია, რომ სტანდარტული ნავთობდამჭერი ნაგებობები კონსტრუქციულად დიდ ზომებს იკავებენ (მაგ., ტიპური ნავთობდამჭერის ერთი სექციის სიგანე 3-6 მ-ს აღწევს, ხოლო სიღრმე - 2 მ-ს), რის გამოც მათი მიბმა კონკრეტულ ობიექტებთან გარკვეულ სიძნელეებთანაა დაკავშირებული და ხშირად შეუძლებელიც. გარდა ამისა, ეს ნაგებობები ექსპლუატაციისას ელექტროენერგიას იყენებენ, რაც გარკვეულ ხარჯებთანაა დაკავშირებული. აღნიშნულმა გარემოებამ განაპირობა ჩვენი გადაწყვეტილების მიღება, რომელიც ლოკალურ პირობებში ითვალისწინებს დასმული პრობლემის იაფად და მოხერხებულად გადაჭრას.

ნაშრომში შემუშავებულია ნავთობ- და ცხიმშემცველი ჩამდინარი წყლების გაწმენდის ეფექტური მეთოდი აქტიური გამფილტრავი ქიმიური ადსორბენტების გამოყენებით, რომლის საფუძველზეც შესაძლებელი იქნება გასაწმენდი მოწყობილობით სხვადასხვა ობიექტებიდან მიღებული ნავთობ- და ცხიმშემცველი პროდუქტებით დაბინძურებული ჩამდინარი წყლების ლოკალური გაწმენდა ქალაქის წყალარინების ქსელებში ჩაშვებამდე. ეს პრობლემა (რითაც მიიღწევა ქალაქის გამწმენდი სადგურების მუშაობის რეგლამენტის შერბილება და წყალსატევების ეკოსისტემების მდგომარეობის გაჯანსაღება) პრაქტიკულად შეიძლება განახორციელონ ქალაქის მუნიციპალიტეტებმა ჩვენ მიერ შემოთავაზებული მეთოდოლოგიის მიხედვით. ზოგადად უნდა აღინიშნოს, რომ საქართველოში მუნიციპალური სამსახურების საქმიანობა მიმართული უნდა იყოს მიმდებარე გარემოს დაცვისა და გაჯანსაღების პრობლემების გადაწყვეტისკენ, რისთვისაც რეგულარულად უნდა გამოიყოფოდეს სათანადო სახსრები მიზნობრივი ეკოლოგიაორიენტირებული პოლიტიკის განსახორციელებლად, რომელიც გულისხმობს:

- ადამიანის აზროვნების ხასიათის შესაბამისობას ეკოლოგიაორიენტირებულ პოლიტიკასთან და მის განუხრელ განხორციელებას;
- ახალი თაობის ტექნიკური მოწყობილობების (აგრეთვე, პროგრესული ტექნოლოგიების), მექანიზმების შექმნას და დანერგვას, მიმდებარე გარემოს ეკოლოგიური უსაფრთხოების უზრუნველყოფის მიზნით;
- მიმდებარე გარემოზე ადამიანის მოღვაწეობის უარყოფითი შედეგების შერბილებას და თავიდან აცილებას;
- ეკოლოგიურად სუფთა საწარმოების შექმნას და მათზე მუდმივი ზედამხედველობის დაწესებას;
- ეკოლოგიური თვალსაზრისით ახალი სამართლებრივი და ნორმატიული აქტების შემუშავებას და მათ განუხრელ დაცვას;
- მიმდებარე გარემოს დაბინძურებაზე პასუხისმგებლობის გამკაცრებას;
- ეკოლოგიური პრობლემების გადასაწყვეტად საერთაშორისო თანამშრომლობისა და გამოცდილების გამოყენებას.

აღნიშნული ეკოლოგიაორიენტებული პოლიტიკისა და ქალაქების მიმდებარე გარემოს დაცვის განხრით საქართველოს ქალაქების (თბილისი, ბათუმი, ქუთაისი, რუსთავი, გორი, თელავი, ხაშური და ა.შ.) მუნიციპალურმა სამსახურებმა აღნიშნული მიმართულებით საქმიანობა უნდა

წარმართონ საქართველოს კანონით: "წყლის შესახებ" (ძალაშია 1997 წლიდან), საქართველოს კანონით: "გარემოს დაცვის შესახებ" (ძალაშია 1996 წლიდან), აგრეთვე, ევროსაბჭოს დირექტივის 91/271/EEC თანახმად, რომელიც შეეხება მუნიციპალური წყალარინების ჩამდინარი წყლების გაწმენდას, და რომლის თანახმად ყველა საქალაქო და სხვა სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლები შეგროვილი და გაწმენდილი უნდა იქნეს (დამაბინძურებელი ინგრედიენტების მიხედვით ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციების ფარგლებში) წყალსატევებში მათ ჩაშვებამდე, კერძოდ:

- წყლის ობიექტების (მდინარეების, ტბების, წყალსაცავების და ა.შ.) დაცვა და წყლის რესურსების რაციონალური გამოყენება ახლანდელი და მომავალი თაობის ინტერესების და მდგრადი განვითარების პრინციპების გათვალისწინებით;

- წყლის მავნე ზემოქმედების თავიდან აცილება და შედეგების ეფექტური ლიკვიდაცია;

- წყლის ობიექტების მდგრადი გამოყენება კომპლექსური წყალ-სამეურნეო-მონოპოლიური დანიშნულებით (წყალმომარაგება, ჰიდროენერგეტიკა, მორწყვა, რეკრეაცია და ა.შ.);

- საქართველოს წყლების ეკოლოგიური ფასეულობების და ფუნქციების შენარჩუნება;

- ჩამდინარი წყლებით დაბინძურების ეკოლოგიური რისკის მინიმუმამდე დაყვანა და შემცირება და, შესაბამისად, შესაძლო ზარალის თავიდან აცილება.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები მოყვანილია დასკვნაში:

ნაშრომში სისტემური მიდგომის საფუძველზე გადაწყვეტილია საინჟინრო ამოცანა “ ნავთობ- და ცხიმშემცველი ჩამდინარი წყლების გაწმენდის ეფექტური მეთოდის შემუშავება აქტიური გამფილტრავი ქიმიური ადსორბენტების გამოყენებით” კერძოდ:

1. საკვლევი პრობლემა აღამიანთა ჯანმრთელობის, ეკოლოგიური უსაფრთხოებისა და გარემოს დაცვის განხრით, ეროვნული უსაფრთხოების უზრუნველყოფის საინჟინრო ამოცანათა კლასს განეკუთვნება, რის გამოც მისი გადაწყვეტა აქტუალური და დროულია.

2. შემუშავდა ნავთობ- და ცხიმშემცველი პროდუქტებით დაბინძურებული სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების გაწმენდის ეფექტური მეთოდი, რომელიც ემყარება ქიმიური ადსორბენტების სამეცნიერო-ექსპერიმენტულ კვლევებს, კერძოდ:

- ადსორბენტების (კლინოპტილოლიტი, ორდენიტი, შაბაზიტი, ერიონიტი და სხვ.) ჯგუფიდან ნავთობ- და ცხიმშემცველი ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად სამეცნიერო-ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე შეირჩა აქტიურ გამფილტრავ ქიმიურ გამფილტრავ მასალად თერმულად დამუშავებული (აფუებული) პერლიტი;

- სამეცნიერო-ექსპერიმენტული კვლევებით დადგინდა აღნიშნული სახის ჩამდინარი წყლების გაწმენდაში პერლიტის მასალის გამოყენების მაღალეფექტურობა, რის გამოც ეს მასალა რეკომენდებულ იქნა ავტოსამრეცხაოების და საზოგადოებრივი კვების ობიექტების წყლების გასაწმენდად წყალარინების ქსელებში ჩაშვებამდე.

3. სამეცნიერო-ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე დასაბუთდა ქიმიური გამფილტრავი მასალის – პერლიტის გამოყენება, ხელოვნ-

ნურად აღებული მანქანის ზეთითა და თხევადი ცხიმით დაბინძურებული წყლების გასაწმენდად

– სტატისტიკურ სარწმუნოებაზე დასაბუთდა ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა ამონაკრების ექსტრემალური მნიშვნელობების გენერალური განაწილებისადმი მათი მიკუთვნებადობის ხარისხი.

– საკვლევი ამონაკრებების სტატისტიკური დამუშავების საფუძველზე შედგენილ იქნა სარწმუნო რეგრესიული მოდელები, რომლებიც ასახავენ პერლიტის გამოყენების შესაძლებლობას ჩამდინარი წყლების გამფილტრავ მასალად სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტებისათვის.

4. შემუშავებულ ღონისძიებათა კომპლექსის განხორციელებით ავტოსამრეცხაოებსა და სხვა საზოგადოებრივი კვების ობიექტებზე, მნიშვნელოვნად გაუმჯობესდება საქართველოს ქალაქების ჩამდინარი წყლების ხარისხი წყალსატევებში (მდინარეები, ტბები და სხვ.) მათ ჩაშვებამდე (ქ. თბილისის პირობებში კი მიიღწევა გარდაბნის ჩამდინარი წყლების გამწმენდი სადგურის მუშაობის რეგლამენტისა და მდ. მტკვრის ეკოსისტემის გაუმჯობესება).

## Summary

Dissertation work in structure and volume consists of: introduction, four chapters, conclusion and literature list of 68 denominations, also 10 figures and 40 tables.

Chapter 1 is dedicated to the analysis of waste waters according different factors which comprise chemical composition of natural and waste waters, classification, the effect of contained matter on sanitary regime of water reservoirs (rivers, lakes, etc.). Also comprises general methods and principles of waste waters purification, including the problems of purification of waters contaminated with mineral oil products.

Chapter 2 discusses physical-chemical characterization of adsorption and the possibilities of its using in purification of oil- and fat containing waste waters, main diagrams of adsorptive purification with zeolites, also pearlite raw material is characterized as adsorbent.

Chapter 3 presents scientific-research experiments for pearlite material testing as adsorbent, as the means of filtration-purification of oil- and fat-containing waste waters. In particular, a series of experimental observations has been carried out in order to state filtering capacity of raw pearlite in the case of contamination with engine oil and liquid fat. Respectively, the results of experimental observation data have been processed (using mathematical statistics methods) and regressive type models have been composed.

Chapter 4 gives the estimation of mineral oil- and fat-containing waste waters pollution rate, prognosis and the measures for ecological safety support of draining systems. With this purpose descriptive models of pollution rate estimation and prognosis of industrial and household waste waters were created. Also, for purification of waste waters contaminated with oil- and fat-containing products a device is elaborated for using in different purpose objects (car washing stations, restaurants, etc). The characteristics of engineering draining systems operation quality (exploitation reliability, safety, risk factor) are investigated and their effect on perfection of the conditions of waste waters purification station operation is investigated.

According to international experience and world practice of waste waters purification, the required water purification rate can be generally achieved with inculcation of modern technological schemes of purification which, in a sense, use sorption processes. The technologies of purification of industrial and household waters with oil- and fat-containing floating admixtures are also known which are based on using the methods of deposition and filtration. The mentioned technologies of waste water treatment are, in the first place, expensive and in the second place, are awkward for local type objects. Also it should be mentioned that standard oil-trapping constructions are of big dimensions (e.g. the length of one section of typical oil-trapper is about 3-6 m and depth 2 m), therefore, their attachment to concrete objects is difficult and often even impossible. Besides, these constructions work on electric power which is connected with definite expenses. The mentioned circumstances were the reason of our solution which in local conditions is a cheap and convenient solution of the stated problem.

The article elaborates effective method of oil- and fat-containing waste waters purification with the use of active filtering chemical adsorbents on the basis of which local purification of waste waters polluted with oil- and fat-containing products collected from different objects with treating device before draining into town spillway networks will be possible. This problem (which enables the softening of town purification stations operation regulations and sanitation of water reservoirs ecosystems) can practically be realized by town municipalities according to the methodology pro-

posed by us. Generally, it should be mentioned that in Georgia the activity of municipal services should be directed to the solution of protection and sanitation problems of the adjacent environment for which it is necessary that respective sums be regularly assigned for realization of purposeful ecology-oriented policy which implies:

- The adequacy of human thinking to ecology-oriented policy and its strict realization;
- The creation and inculcation of new generation technical equipment (also progressive technologies), mechanisms with the purpose of provision of environment ecological safety;
- Softening and avoiding of negative results of human activity on neighboring environment;
- Creation of ecologically pure enterprises and permanent supervision;
- Development of new legal and normative regulations in ecological viewpoint and strict execution of them;
- Tightening of responsibility for neighboring environment pollution;
- Using of international cooperation and experience for the solution of ecological problems.

In the sphere of the mentioned ecology-oriented policy and protection of environment adjacent to towns the municipal services of the towns of Georgia (Tbilisi, Batumi, Kutaisi, Rustavi, Gori, Telavi, Khashuri, etc.) should direct their activity according to the Law of Georgia “About water”(in act since 1997), the Law of Georgia “On environment protection” (in act since 1996), also according to EU directions 91/27/EEC concerning the purification of municipal waste water drainage and according to which all municipal and industrial-household waste waters should be collected and purified (within the limits of allowed concentrations of polluting ingredients) before draining into reservoirs, in particular:

- Water objects (rivers, lakes, water reservoirs, etc.) protection and rational using of water resources with consideration of interests of contemporary and future generations and sustainable development principles;
- Avoiding of harmful effect of water and effective elimination of the results;
- Sustainable using of water objects for complex water industry monopolistic measures (water supply, hydro power engineering, irrigation, recreation, etc.);
- Preservation of ecological values and functions of waters of Georgia;
- Minimization and lowering of ecological risks of waste waters pollution and respectively, avoidance of possible losses.

The main results of dissertation work are given in solution:

In the work on the basis of systems approach an engineering problem “Elaboration of effective method of oil- and fat-containing waste waters purification using active chemical filtering adsorbents” is solved, particularly:

1. In the sense of human health, ecological safety and environment protection the researched problem concerns the class of engineering problems of national safety provision, therefore its solution is urgent and timely.

2. An effective method of purification of industrial-household waste waters polluted with oil- and fat-containing products was developed which is based on scientific-experimental researches of chemical adsorbents, particularly:

- On the basis of scientific-experimental researches for purification of oil- and fat-containing waste water the thermally treated (swelled) pearlite was chosen as ac-

tive filtering chemical adsorbent from the group of adsorbents (clinoptilolite, odenite, shabazite, erionite, etc.);

- Scientific-experimental researches proved high effectiveness of pearlite material used for purification of the mentioned type waste waters, therefore, this material was recommended for purification of waters of car washing and public feeding objects before draining into spillway systems.

3. On the basis of scientific-experimental researches the advantage of using chemical adsorbent – pearlite for purification of water polluted with machine oil and liquid fat was proved.

- The extreme values of experimental observations extracts and the rate of their appertaining to general distribution were proved in the sense of statistic reliability;

- On the basis of statistic processing of research extracts the reliable regressive models have been made which comprise the possibilities of pearlite using as waste water filtering material in different purpose objects.

4. With realization of the developed measures at car washing stations and other public feeding objects the quality of waste waters in the towns of Georgia will be significantly improved before its draining into water reservoirs (rivers, lakes, etc.) (while in conditions of Tbilisi the improvement of purification station of Gardabani waste water regulations and the river Mtkvari ecosystem will be achieved).

# შინაარსი

ტიტულის გვერდი .....	i
ხელმოწერების გვერდი .....	ii
საავტორო უფლების გვერდი .....	iii
რეზიუმე (ორ ენაზე) .....	iv-viii
შინაარსი .....	xi
ცხრილების ნუსხა .....	xiv
ნახაზების ნუსხა .....	xviii
ძირითადი ტექსტი .....	19
შესავალი. ნაშრომის საერთო დახასიათება .....	19
თავი 1. ჩამდინარი წყლების ანალიზი და ზოგადი დახასიათება სხვადასხვა მაჩვენებლების მიხედვით .....	27
1.1. ბუნებრივი წყლების ქიმიურ შედგენილობაზე მოქმედი ფაქტორები და მათი ფიზიკურ-ქიმიური შედგენილობის ძირითადი კომპონენტები .....	27
1.2. ჩამდინარი წყლების დახასიათება წარმოშობის მიხედვით .....	29
1.2.1. სამეურნეო-ფეკალური ჩამდინარი წყლების ქიმიური შედგენილობა .....	32
1.2.2. სამეურნეო-ფეკალურ წყლებში შემცველ ნაერთთა ძირითადი ჯგუფები .....	33
1.2.3. ჩამდინარი წყლების რეაქცია .....	34
1.2.4. ჩამდინარი წყლების კლასიფიკაცია ჟბმ და ჟქმ შეფარდების სიდიდის მიხედვით .....	36
1.2.5. ჩამდინარ წყლებში არსებული ნივთიერებების გავლენა წყალსატევების სანიტარულ რეჟიმზე .....	37
1.2.6. შემცველ ნივთიერებათა უკიდურესად დასაშვები კონცენტრაც- ციები (უდკ) და განმსაზღვრელი ფაქტორები .....	38
1.3. ჩამდინარი წყლების გაწმენდა .....	40

14. ნავთობპროდუქტებით დაბინძურებული ჩამდინარი წყლების გაწმენდა .....	44
15. ჩამდინარი წყლების სრული ბიოლოგიური (ბიოქიმიური) გაწმენდის უზრუნველყოფის პრაქტიკული პირობები .....	47
თავი 2. ადსორბციის ფიზიკო-ქიმიური პროცესების დახასიათება და მათი გამოყენების შესაძლებლობები ნავთობ- და ცხიმშემცველი ჩამდინარი წყლების გაწმენდაში .....	55
2.1. ადსორბციის პროცესი .....	55
2.1.1. იონგაცვლითი ადსორბცია .....	59
2.2. ადსორბციული გაწმენდის ძირითადი სქემები .....	65
2.3. ცეოლითები .....	70
2.3.1. ცეოლითების ქიმიური შედგენილობა .....	73
2.3.2. ცეოლითების სტრუქტურა .....	74
2.3.3. ცეოლითების სტრუქტურული კლასიფიკაცია .....	75
2.3.4. ცეოლითების სპექტრული გამოკვლევები .....	76
2.4. პერლიტის ნედლეული .....	80
თავი 3. სამეცნიერო-კვლევითი ექსპერიმენტები პერლიტის, როგორც ნავთობ- და ცხიმშემცველი ჩამდინარი წყლების გამწმენდ მასალად გამოყენების შესაძლებლობის დასადგენად .....	83
3.1. პერლიტის გამფილტრავი ხარისხის დამოკიდებულება მანქანის ზეთისა და თხევადი ცხიმის კონტრენტაციაზე .....	83
3.2. პერლიტის გამფილტრავი ხარისხის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე .....	88
3.3. ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა ამონაკრებების ექსტრემალურ მნიშვნელობათა შემოწმება სტატისტიკურ სარწმუნოობაზე .....	90
3.4. მანქანის ზეთსა და თხევად ცხიმებზე ჩატარებული ექსპერიმენტული დაკვირვების მონაცემთა სტატისტიკური მახასიათებლების განსაზღვრის ფორმულები .....	100
3.5. მანქანის ზეთსა და თხევად ცხიმზე ჩატარებული ექსპერიმენტული დაკვირვების მონაცემთა სტატისტიკური დამუშავება, რეგრესიული მოდელების შედგენა და მიღებული შედეგების ანალიზი .....	101

3.6. მანქანის ზეთისა და თხევადი ცხიმის ექსპერიმენტულად დაკვირვებულ მონაცემთა შესადარებელი ამონაკრებების შემოწმება ნორმალურ განაწილებაზე.....	125
3.7. რეალურ ობიექტებზე ნავთობ- და ცხიმშემცველი პროდუქტებით დაბინძურებული ჩამდინარი წყლების გასაწმენდი მოწყობილობის საექსპლუატაციო მუშაობის პირობების (ტექნიკურ რეგლამენტის), დასადგენად ჩატარებული გამოკვლევა .....	131
3.7.1. ავტოსამრეცხაოებზე, ავტოგასამართ სადგურებზე და ბენზინგასამართ სადგურებზე ჩატარებული გამოკვლევა .....	131
თავი 4. ნავთობ- და ცხიმშემცველი ჩამდინარი წყლების დაბინძურების ხარისხის შეფასება, პროგნოზირება და ღონისძიებები წყალარინების სისტემის ეკოლოგიური უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად .....	136
4.1. სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების დაბინძურების ხარისხის შეფასების და პროგნოზირების დესკრიფციული მოდელების აგება .....	136
4.2. ნავთობ- და ცხიმშემცველი პროდუქტებით დაბინძურებული სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების გასაწმენდი მოწყობილობა სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტებზე (ავტოსამრეცხაოები, რესტორნები და სხვ.) გამოსაყენებლად .....	140
4.3. წყალარინების საინჟინრო სისტემების ფუნქციონირების საექსპლუატაციო საიმედოობის, ეკოლოგიური უსაფრთხოებისა და რისკის პრობლემების შესახებ .....	144
დასკვნა .....	149
ლიტერატურა .....	151

## ცხრილები ნუსხა

ცხრილი 1 ცხრ.1. ნავთობშემცველი წყლების გაწმენდის ხერხების კლასიფიკაცია და მისაღწევი ეფექტურობა .....	20
ცხრ. 1.1. დამაბინძურებელ ნივთიერებათა უკიდურესად დასაშვები კონცენტრაცია წყალსატევის წყალში .....	39
ცხრ. 2.1. აღსორბციული გაწმენდის ძირითადი სქემები .....	66
ცხრ. 2.2. ცეოლითების შედგენილობა და სტრუქტურა .....	74
ცხრ. 2.3. პერლიტის ნედლეულის ბუნებრივი და აფუებული სახეობები .....	82
ცხრ. 3.1. მანქანის ზეთის აღსორბციის ხარისხის დამოკიდებულება კონცენტრაციაზე .....	86
ცხრ. 3.2. თხევადი ცხიმის აღსორბციის ხარისხის დამოკიდებულება კონცენტრაციაზე .....	87
ცხრ. 3.3. თხევადი ცხიმის აღსორბციის ხარისხის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე 20 <sup>0</sup> C-ზე .....	88
ცხრ. 3.4. თხევადი ცხიმის აღსორბციის ხარისხის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე 30 <sup>0</sup> C-ზე .....	89
ცხრ. 3.5. თხევადი ცხიმის აღსორბციის ხარისხის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე 40 <sup>0</sup> C-ზე .....	89
ცხრ. 3.6. მანქანის ზეთის აღსორბციის ხარისხის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე 20 <sup>0</sup> C-ზე .....	89
ცხრ. 3.7. მანქანის ზეთის აღსორბციის ხარისხის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე 30 <sup>0</sup> C-ზე .....	90
ცხრ. 3.8. მანქანის ზეთის აღსორბციის ხარისხის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე 40 <sup>0</sup> C-ზე .....	90
ცხრ. 3.9. მანქანის ზეთისა და თხევადი ცხიმის ექსპერიმენტულად დაკვირვებულ მონაცემთა საანალიზო საწყისი რიგები .....	94
ცხრ. 3.10. მანქანის ზეთისა და თხევადი ცხიმის ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა მონაცემების მიხედვით შედგენილი რანჟირებული რიგები .....	95
ცხრ. 3.11. მანქანის ზეთის ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა მონაცემების მიხედვით (საწყისი, საბოლოო, აღსორბციის ხარისხი) საეჭვო მონაცემების შემოწმების შედეგები .....	96

ცხრ. 3.12. თხევადი ცხიმის ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა მონაცემების მიხედვით (საწყისი, საბოლოო, ადსორბციის ხარისხი) საექვო მონაცემების შემოწმების შედეგები .....	97
ცხრ. 3.13. მანქანის ზეთის ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა მონაცემების (საწყისი, საბოლოო, ადსორბციის ხარისხი) სტატისტიკური სარწმუნოობის შემოწმება $t$ ნორმირებული გადახრების მიხედვით .....	98
ცხრ. 3.14. თხევადი ცხიმის ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა მონაცემების (საწყისი, საბოლოო, ადსორბციის ხარისხი) სტატისტიკური სარწმუნოობის შემოწმება $t$ ნორმირებული გადახრების მიხედვით .....	99
ცხრ. 3.15. ექსპერიმენტებში მანქანის ზეთის გამოყენების შემთხვევაში X და Y რიგებს შორის განსაზღვრული სტატისტიკური მახასიათებლები და შედგენილი მოდელები .....	105
ცხრ. 3.16. ექსპერიმენტებში თხევადი ცხიმის გამოყენების შემთხვევაში X და Y რიგებს შორის განსაზღვრული სტატისტიკური მახასიათებლები და შედგენილი მოდელები .....	106
ცხრ. 3.17. მანქანის ზეთისა და თხევადი ცხიმის X და Y რიგებს შორის სტატისტიკური მახასიათებლებისა და რეგრესიის მოდელების განსაზღვრა .....	107
ცხრ. 3.18. მანქანის ზეთის საწყისი ექსპერიმენტული მონაცემების და ადსორბციის ხარისხის მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების $Y^*=6,378+0,191X$ ფარდობითი ცთომილებების განსაზღვრა .....	108
ცხრ. 3.19. მანქანის ზეთის საწყისი ექსპერიმენტული მონაცემების და მანქანის ზეთის საბოლოო მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების $(Y^*=- 6.407+0.81X)$ ფარდობითი ცდომილების განსაზღვრა .....	109
ცხრ. 3.20. მანქანის ზეთის საბოლოო ექსპერიმენტული მონაცემებისა და ადსორბციის ხარისხის მონაცემებს შორის სტატისტიკური დამოკიდებულების $(Y^*=10.202+0.226X)$ ფარდობითი ცდომილების განსაზღვრა .....	110
ცხრ. 3.21. მანქანის ზეთის შემცველობა %-ებში და ადსორბციის ხარისხის %-ებში მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების $(Y^*= 21,01 - 5,057X)$ ფარდობითი ცთომილების განსაზღვრა .....	111
ცხრ. 3.22. თხევადი ცხიმის შემცველობა %-ში და ადსორბციის ხარისხი %-ებში მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური	

დამოკიდებულების ( $Y^* = 25,536 - 0,063X$ ) ფარდობითი ცთომილებების განსაზღვრა .....	112
ცხრ. 3.23. თხევადი ცხიმის საწყისი ექსპერიმენტული მონაცემების და ადსორბციის ხარისხის მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების ( $Y^* = 8,93 + 0,213X$ ) ფარდობითი ცდომილების განსაზღვრა .....	113
ცხრ. 3.24. თხევადი ცხიმის საწყის ექსპერიმენტულ მონაცემებსა და თხევადი ცხიმის საბოლოო ექსპერიმენტულ მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების ( $Y^* = -10,891 + 0,84X$ ) ფარდობითი ცდომილების განსაზღვრა.....	114
ცხრ. 3.25. თხევადი ცხიმის საბოლოო ექსპერიმენტული მონაცემების და ადსორბციის ხარისხის მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების ( $Y^* = 12,895 + 0,263X$ ) ფარდობითი ცდომილების განსაზღვრა .....	115
ცხრ. 3.26. მანქანის ზეთის საწყისი ექსპერიმენტული მონაცემების და თხევადი ცხიმის საწყის ექსპერიმენტულ მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების ( $Y^* = -20,118 + 0,967X$ ) ფარდობითი ცთომილების განსაზღვრა .....	116
ცხრ. 3.27. მანქანის ზეთის საბოლოო ექსპერიმენტული მონაცემების და თხევადი ცხიმის საბოლოო ექსპერიმენტულ მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების ( $Y^* = -16,972 + 0,932X$ ) ფარდობითი ცთომილების განსაზღვრა .....	117
ცხრ. 3.28. მანქანის ზეთის ადსორბციის ხარისხის ექსპერიმენტული მონაცემების და თხევადი ცხიმის ადსორბციის ხარისხის ექსპერიმენტულ მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების ( $Y^* = 2,35 + 1,006X$ ) ფარდობითი ცთომილების განსაზღვრა .....	118
3.29. თხევად ცხიმზე ექსპერიმენტულად დაკვირვებულ მონაცემთა შესადარებელი ამონაკრებების შემოწმება ნორმალური განაწილების ჰიპოთეზის ვან-დერ-ვარდენის X კრიტერიუმის საფუძველზე .....	127
3.30. მანქანის ზეთზე ექსპერიმენტულად დაკვირვებულ მონაცემთა შესადარებელი ამონაკრებების შემოწმება ნორმალური განაწილების ჰიპოთეზაზე ვან-დერ-ვარდენის X კრიტერიუმის საფუძველზე .....	129
3.31. ქ. თბილისის შერჩევით აღებული ავტოსამრეცხაოებიდან მიღებულ ჩამდინარ წყლებში ნავთობპროდუქტების დაბინძურების რაოდენობის ვიზუალური გამოკვლევის შედეგები .....	134

3.32. ქ. თბილისის და ქ. მცხეთის შერჩევით აღებული რესტორნებიდან მიღებულ ჩამდინარ წყლებში ცხიმშემცველი პროდუქტებით დაბინძურების რაოდენობის ვიზუალური გამოკვლევის შედეგები .....	135
ცხრ. 4.1. სტანდარტები ჩამდინარი წყლების ჩაშვებაზე ზედაპირულ წყლებში .....	138
ცხრ. 4.2. შედგენილი დესკრიფციული მოდელები აგებული საქართველოს პირობებისათვის ჩამდინარი წყლების ჩაშვებაზე ზედაპირულ წყლებში ევროსაბჭოს (91/271/EEC სტანდარტი) დირექტივის შესაბამისად .....	139
ცხრ. 4.3. 1 <sup>შ</sup> ჩამდინარი წყლის გაწმენდის საორიენტაციო დაყვანილი ღირებულება .....	144

## ნახაზების ნუსხა

ნახ. 3.1. მანქანის ზეთის საწყის ექსპერიმენტულ მონაცემებსა და აღსორბციის ხარისხის მონაცემებს შორის სტატისტიკური დამოკიდებულების გრაფიკული ასახვა.....	119
ნახ. 3.2. მანქანის ზეთის საწყის და საბოლოო ექსპერიმენტულ მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების გრაფიკული ასახვა.....	120
ნახ. 3.3. მანქანის ზეთის საბოლოო ექსპერიმენტულ მონაცემებსა და აღსორბციის ხარისხის მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების გრაფიკული ასახვა.....	121
ნახ. 3.4. თხევადი ცხიმის საწყის ექსპერიმენტულ მონაცემებსა და აღსორბციის ხარისხის მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების გრაფიკული ასახვა.....	122
ნახ. 3.5. თხევადი ცხიმის საწყის და საბოლოო ექსპერიმენტულ მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების გრაფიკული ასახვა.....	123
ნახ. 3.6. თხევადი ცხიმის საბოლოო ექსპერიმენტულ მონაცემებსა და აღსორბციის ხარისხის მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების გრაფიკული ასახვა .....	124
ნახ. 4.1. გამწმენდი მოწყობილობა ნაკადის აღმავალი მიმართულებით .....	142
ნახ. 4.2. გამწმენდი მოწყობილობა ნაკადის დაღმავალი მიმართულებით .....	143
ნახ. 4.3. ბიოგაზის მიღების ბიოენერგეტიკული მოწყობილობის ტექნოლოგიური სქემა .....	145
ნახ. 4.4. ტექნოგენური რისკის ანალიზის ბლოკ-სქემა.....	148

## შესავალი

გარემოს დაბინძურება სამართლიანად მიეკუთვნება თანამედროვეობის უმნიშვნელოვანეს პრობლემათა რიგს. დაბინძურების წყაროები მრავალგვარია, ამდენად, აუცილებელია გარემოს ობიექტების ხარისხობრივი მდგომარეობის მენეჯმენტის გაუმჯობესება, რომლის საბოლოო მიზანი იქნება ადამიანის ჯანმრთელობაზე დაბინძურებული გარემოს ობიექტების უარყოფითი ზეგავლენის შემცირება და უსაფრთხო გარემოს უზრუნველყოფა.

კაცობრიობის წინაშე დღესდღეობით დგას სუფთა სასმელი წყლის შენარჩუნების მეტად რთული ამოცანა. მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში აღინიშნება მტკნარი წყლის საერთო დეფიციტი, მიმდინარეობს მისი წყაროების თანდათანობითი დეგრადაცია და შესაბამისად, დაბინძურების მატება. ხშირად მდინარეებში, ზღვებსა და ოკეანეებში ჩაედინება მრავალი სხვადასხვა ნივთიერება, ზოგჯერ მანამდე სრულიად უცნობი შედეგნილობისა და ძნელად განსასაზღვრი.

ჩამდინარი წყლების უარყოფითი გავლენა წყლის ობიექტებზე უპირველეს ყოვლისა, ვლინდება მათში ტოქსიკური ნივთიერებების შემცველობით, რომელთაც აქვთ ჰიდრობიონტებში დაგროვების უნარი, რითაც საფრთხეს უქმნიან მოსახლეობის ჯანმრთელობას. მკვნი ნივთიერებები ახშობენ წყლის მიკროფლორის ცხოველქმედებას, რომელიც მნიშვნელოვან როლს ასრულებს წყლის ობიექტების თვითგაწმენდის პროცესებში. ორგანული ნივთიერებებით მდიდარი ჩამდინარი წყლები არღვევენ წყლის ობიექტების ჟანგბადურ რეჟიმს. ჩამდინარი წყლები, რომლებიც შეიცავენ ცხიმებს, ზეთებს, ნავთობსა და ნავთობპროდუქტებს, აფერხებენ წყალსარგებლობას, წარმოქმნიან წყლის ზედაპირზე აფსკს და სერიოზულ დაბრკოლებას უქმნიან წყლის ობიექტის სხვადასხვა მიზნებისათვის გამოყენებას.

ჩამდინარი წყლების გაწმენდის მსოფლიო პრაქტიკის შესაბამისად [1], წყლის გაწმენდის სათანადო ხარისხის მიღწევა შესაძლებელია გაწმენდის იმ ახალი ტექნოლოგიური სქემების დანერგვით, რომლებშიც გარკვეულწილად გამოყენებულია სორბციული პროცესები. ცნობილია აგრეთვე ნავთობ- და ცხიმშემცველი მოტივტივემინარეებიანი სამეურ-

ნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების გაწმენდა, რაც დამყარებულია დალექვისა და გაფილტვრის მეთოდის გამოყენებაზე [2], ნავთობ-შემცველი წყლების გაწმენდის ხერხები წარმოდგენილია ცხრილში 1 [3].

**ნავთობშემცველი წყლების გაწმენდის ხერხების  
კლასიფიკაცია და მისაღწევი ეფექტურობა**

ცხრილი 1

გაწმენდის ხერხი	ნავთობპროდუქტების საწყისი კონცენტრაცია ჩანადენში	გაწმენდის მისაღწევი სიღრმე, მგ/ლ	შენიშვნა
1. მექანიკური (დაწლობა)	> 1000	40-1000	არ ასუფთავებს ემულგირებული პროდუქტებისაგან
2. ფიზიკურ-ქიმიური: ფლოტაცია	200	20-50	გაწმენდის ხარისხი დამოკიდებულია ფლოტაციის პირობებზე
კოალესცენცია	100	10-15	ნაწილობრივ წმენდს ემულგირებული მინარევებისაგან
აღსორბცია	100	1-3	ასუფთავებს ემულგირებული ნავთობპროდუქტებისაგან (წინასწარი გაწმენდის შემდეგ)
ქიმიური	50	1-10	გამოიყენება ფილტრაციასა და დაწდომასთან შერწყმით
3. ბიოქიმიური (აერობული მიკროორგანიზმების მეშვეობით)	100	1-100	აუცილებელია წინასწარი დაწდომა, ასუფთავებს ემულგირებული ნავთობპროდუქტებისაგან

ცნობილია [2,4] სხვადასხვა ტიპის ნავთობ და ცხიმდამჭერი მოწყობილობები (ტიპური ნავთობდამჭერი, მრავალსართულიანი ნავთობდამჭერი, ჰიდროციკლონი და ა.შ.). ეს ნაგებობები წარმოადგენს კონსტრუქციულად წავრძელებული ფორმის რეზერვუარს (ჰორიზონტალური სალექარის სახით), რომელშიც ნავთობშემცველი და ნაწილობრივ ცხიმშემცველი პროდუქტები ამოტივტივდება წყლის ზედაპირზე, ხოლო მყარი მინერალური და კოლოიდური ნარევი რეზერვუარის ფსკერზე გამოილეკება. ერთი მხრივ, მყარი მინერალური ნაწილაკების და კოლოიდური ნარევის დალეკვის, ხოლო მეორე მხრივ, ნავთობ- და ცხიმშემცველი მინარევების გამოცალკევების პროცესი დამოკიდებულია შემდეგ ფაქტორებზე: ნავთობისა და ცხიმშემცველი პროდუქტების სიმკვრივეზე, მყარი მინერალური ნარევისა და ლამის სიმსხოზე, ნავთობის ან ცხიმების და მინერალური ნაწილაკების ნარევის თანაფარდობაზე და ა.შ.

საკვლევი პრობლემა, ადამიანთა ჯანმრთელობის ეკოლოგიური უსაფრთხოებისა და გარემოს დაცვის განხრით, აგრეთვე ეროვნული უსაფრთხოების უზრუნველყოფის ამოცანათა რიგს განეკუთვნება, რის გამოც მისი გადაწყვეტა აქტუალური, დროული და, ამავე დროს, უნიკალურიცაა გასაწმენდი მოწყობილობის კონსტრუქციული თავისებურებისა და აღნიშნულ ობიექტებზე გამოყენებადობის ეფექტურობის მიხედვით.

სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების (მათ შორის ნავთობ- და ცხიმშემცველი პროდუქტებით დაბინძურებული ჩამდინარი წყლების) დაბინძურების ხარისხის შეფასება-პროგნოზირებისათვის ჩვენს მიერ შემუშავებულია დესკრიფციული ტიპის მოდელები, რომლებიც აგებულია შემცველ ნივთიერებათა ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციების მიხედვით (წყალარინების წყლების შესახებ ევროსაბჭოს 91/271/EEC დირექტივებით განსაზღვრული მოთხოვნების გათვალისწინებით (იხ. ცხრ. 4.1) [5].

შედგენილი მოდელები რეკომენდებულია გამოყენებულ იქნეს საქართველოს პირობებში (და არა მარტო საქართველოს პირობებში) ჩამდინარი წყლების გამწმენდი სადგურებიდან მიღებული წყლის დაბინძურების ხარისხის შესაფასებლად ზედაპირული წყლის ობიექტებში (მდინარეები, ტბები, წყალსაცავები და სხვ.) მათ ჩაშვებამდე (იხ. ცხრ. 4.2).

ნავთობ- და ცხიმშემცველი სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად რეკომენდებულია ავტოსამრეცხაოებს,

რესტორნებსა და სხვა დანიშნულების ობიექტებზე გამოყენებულ იქნეს ჩამდინარი წყლების გამწმენდი მოწყობილობა. ამავე დროს, ამ მოწყობილობის ფილტრის შემკვებად გამოყენებულ იქნეს ადგილობრივი მასალა პერლიტი, რომელიც კონცენტრირებული ნავთობ- და ცხიმშემცველი ჩამდინარი წყლების გაწმენდის პირობებში (როგორც ჩვენს მიერ ჩატარებული სამეცნიერო-ექსპერიმენტული კვლევებით დასაბუთდა) მაღალსორბციული თვისებებით ხასიათდება [6].

გარკვეულ ინტერესს იწვევს წყალარინების საინჟინრო სისტემების ფუნქციონირების საექსპლუატაციო საიმედოობის, ეკოლოგიური უსაფრთხოებისა და რისკის პრობლემების გადაწყვეტის საკითხები. ჩვენი აზრით, ამ პრობლემის გადაწყვეტა უნდა დაემყაროს წყალმომარაგება-წყალარინების საინჟინრო სისტემების შემადგენელი ელემენტების და მოწყობილობების საექსპლუატაციო საიმედოობის, ეკოლოგიური უსაფრთხოებისა და რისკის მართვის უზრუნველყოფის კომპლექსური ამოცანების გადაწყვეტის შესაძლებლობის ნორმატიული მონაცემებისა და პირობების გათვალისწინებით [7].

თბილისსა და საქართველოს ქალაქებში (ასევე, მსოფლიოს ურბანიზებულ ქალაქებში) ბოლო ათწლეულში აღინიშნება საავტომობილო ტრანსპორტის მასშტაბების განუხრელი ზრდა, რაც მიმდებარე გარემოს ინტენსიური დაბინძურების კერას ქმნის (და, ამავე დროს, როგორც ატმოსფერული ჰაერის, ასევე სანიაღვრე-ზედაპირული წყლების დაბინძურების უმთავრესი ფაქტორია). საავტომობილო ტრანსპორტის მიერ გამონაბოლქვი აირები შეიცავს მრავალი სახის კანცეროგენულ ნივთიერებებს (ტყვია, ბენზოლი და სხვ.), რომლებიც ჩასუნთქვისას ადამიანის ორგანიზმში (ფილტვებში) აკუმულირდება და მნიშვნელოვან საფრთხეს უქმნის ჯანმრთელობას. ცნობილია, რომ რიგ ქალაქებში ტრანსპორტის მიერ წელიწადში გამონაბოლქვმა აირებმა მავნე ნივთიერებების სახით ატმოსფერულ გარემოში მილიონ ტონაზე მეტი მოცულობა შეადგინა [1].

აღნიშნული ტოქსიკური ნივთიერებებით ბინძურდება არა მარტო ატმოსფერული ჰაერი, არამედ გარკვეულწილად ქალაქის ტერიტორიული ზედაპირული ჩამდინარი წყლებიც, რომლებიც ქალაქის წყალარინების სისტემის ქსელებით ტრანსპორტირდება გამწმენდ სადგურებში, სადაც მათი გაუვნებლება ხდება წყალსატევებში მათ ჩაშვებამდე. გარდა აღნიშნული სახის დაბინძურებისა, სამეურნეო-

საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლები ბინძურდება აგრეთვე ნავთობ- და ცხიმშემცველი პროდუქტებით, რომლებიც ფორმირდება ავტოსამრეცხაოების, რესტორნების და საზოგადოებრივი კვების ქსელის ობიექტებიდან. ეს წყლები ქალაქის წყალარინების (კანალიზაციის) მაგისტრალურ ქსელებში ხშირ შემთხვევებში ლოკალური გაწმენდის გარეშე ჩაიშვება, რაც დაუშვებელია (რადგან ეს იწვევს გამწმენდი სადგურების მუშაობის რეგლამენტის გადატვირთვას და საჭიროებს ჩამდინარი წყლების გაუვნებლობის ძვირად ღირებული მეთოდების გამოყენებას). ცხიმებითა და ნავთობპროდუქტებით დაბინძურების ტენდენცია აღინიშნება როგორც თბილისში, ასევე სხვა ქალაქებშიც, რაც დაბინძურების შემქმნელ კერებში (აღნიშნულ ობიექტებზე) ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად ეფექტური მოწყობილობების აუცილებელ შემუშავებასა და დანერგვას მოითხოვს. არსებულ პირობებში აღნიშნული ქალაქების წყალარინების ქსელებში უკონტროლოდ ხდება ცხიმებითა და ნავთობპროდუქტებით ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებზე მეტი შემცველობით დაბინძურებული ჩამდინარი წყლები, რომლებიც გამწმენდ სადგურებს მუშაობის ფორსირებულ რეჟიმებს უქმნიან. ამის მაგალითად შეიძლება დავასახელოთ გარდაბნის გამწმენდი სადგური, რომელიც ისედაც უადრესად მძიმე და არასაკმარის რეჟიმში მუშაობს.

საერთაშორისო გამოცდილების თანახმად ჩამდინარი წყლების გაწმენდის მსოფლიო პრაქტიკით [2], წყლის გაწმენდის სათანადო ხარისხის მიღწევა ზოგადად შესაძლებელია გაწმენდის თანამედროვე ტექნოლოგიური სქემების დანერგვით, რომლებშიც გარკვეულწილად იყენებენ სორბციულ პროცესებს. ცნობილია აგრეთვე ნავთობ- და ცხიმშემცველი მოტივტივემინარეებიანი სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების გაწმენდის ტექნოლოგიები, რომლებიც დამყარებულია დალექვისა და გაფილტვრის მეთოდის გამოყენებაზე [3]. ჩამდინარი წყლების გაწმენდის აღნიშნული ტექნოლოგიების გამოყენება, ძვირია და აგრეთვე, მოუხერხებელია ლოკალური ტიპის ობიექტებისათვის. ამასთან, აღსანიშნავია, რომ სტანდარტული ნავთობდამჭერი ნაგებობები კონსტრუქციულად დიდ ზომებს იკავებენ (მაგ., ტიპური ნავთობდამჭერის ერთი სექციის სიგანე 3-6 მ-ს აღწევს, ხოლო სიღრმე - 2 მ-ს [3]), რის გამოც მათი მიბმა კონკრეტულ ობიექტებთან გარკვეულ სიძნელეებთანაა დაკავშირებული და ხშირად

შეუძლებელიც. გარდა ამისა, ეს ნაგებობები ექსპლუატაციისას ელექტროენერგიას იყენებენ, რაც გარკვეულ ხარჯებთანაა დაკავშირებული. აღნიშნულმა გარემოებამ განაპირობა ჩვენი გადაწყვეტილების მიღება, რომელიც ლოკალურ პირობებში ითვალისწინებს დასმული პრობლემის იაფად და მოხერხებულად გადაჭრას.

ნაშრომში შემუშავებულია ნავთობ- და ცხიმშემცველი ჩამდინარი წყლების გაწმენდის ეფექტური მეთოდი აქტიური გამფილტრავი ქიმიური მასალების გამოყენებით, რომლის საფუძველზეც შესაძლებელი იქნება გასაწმენდი მოწყობილობით სხვადასხვა ობიექტებიდან მიღებული ნავთობ- და ცხიმშემცველი პროდუქტებით დაბინძურებული ჩამდინარი წყლების ლოკალური გაწმენდა ქალაქის წყალარინების ქსელებში ჩაშვებად.

(ნავთობ- და ცხიმშემცველი პროდუქტებით დაბინძურებულ ჩამდინარ წყლებში, იგულისხმება ავტოსამრეცხაოებიდან, ბენზინ-გასამართი სადგურებიდან და სხვა დაღვრილი და მანქანის ძრავის გარეცხვის შედეგად მიღებული ზეთების ნარჩენები, აგრეთვე საზოგადოებრივი კვების ობიექტებიდან (რესტორნები, კაფე-ბარები და სხვა) ჭურჭლის და სხვა ცხიმოვანი ნარჩენები, რომლებიც უშუალოდ ხვდება ქალაქის წყალარინების სისტემის ქსელებში და გაუწმენდავად ტრანსპორტირდება ქალაქის ჩამდინარი წყლების გამწმენდ სადგურში.

ეს პრობლემა (რითაც მიიღწევა ქალაქის გამწმენდი სადგურების მუშაობის რეგლამენტის შერბილება და წყალსატევების ეკოსისტემების მდგომარეობის გაჯანსაღება) პრაქტიკულად შეიძლება განახორციელონ ქალაქის მუნიციპალიტეტებმა ჩვენ მიერ შემოთავაზებული მეთოდოლოგიის მიხედვით. ზოგადად უნდა აღინიშნოს, რომ საქართველოში მუნიციპალური სამსახურების საქმიანობა მიმართული უნდა იყოს მიმდებარე გარემოს დაცვისა და გაჯანსაღების პრობლემების გადაწყვეტისკენ, რისთვისაც რეგულარულად უნდა გამოიყოფოდეს სათანადო სახსრები მიზნობრივი ეკოლოგიაორიენტირებული პოლიტიკის განსახორციელებლად, რომელიც გულისხმობს:

- ადამიანის აზროვნების ხასიათის შესაბამისობას ეკოლოგიაორიენტირებულ პოლიტიკასთან და მის განუხრელ განხორციელებას;
- ახალი თაობის ტექნიკური მოწყობილობების (აგრეთვე, პროგრესული ტექნოლოგიების), მექანიზმების შექმნას და დანერგვას,

მიმდებარე გარემოს ეკოლოგიური უსაფრთხოების უზრუნველყოფის მიზნით;

- მიმდებარე გარემოზე ადამიანის მოღვაწეობის უარყოფითი შედეგების შერბილებას და თავიდან აცილებას;
- ეკოლოგიურად სუფთა საწარმოების შექმნას და მათზე მუდმივი ზედამხედველობის დაწესებას;
- ეკოლოგიური თვალსაზრისით ახალი სამართლებრივი და ნორმატიული აქტების შემუშავებას და მათ განუხრეველ დაცვას;
- მიმდებარე გარემოს დაბინძურებაზე პასუხისმგებლობის გამკაცრებას;
- ეკოლოგიური პრობლემების გადასაწყვეტად საერთაშორისო თანამშრომლობისა და გამოცდილების გამოყენებას.

აღნიშნული ეკოლოგიაორიენტებული პოლიტიკისა და ქალაქების მიმდებარე გარემოს დაცვის განხრით საქართველოს ქალაქების (თბილისი, ბათუმი, ქუთაისი, რუსთავი, გორი, თელავი, ხაშური და ა.შ.) მუნიციპალურმა სამსახურებმა აღნიშნული მიმართულებით საქმიანობა უნდა წარმართონ საქართველოს კანონით: "წყლის შესახებ" (ძალაშია 1997 წლიდან), საქართველოს კანონით: "გარემოს დაცვის შესახებ" (ძალაშია 1996 წლიდან), აგრეთვე, ევროსაბჭოს დირექტივის 91/271/EEC თანახმად, რომელიც შეეხება მუნიციპალური წყალარინების ჩამდინარი წყლების გაწმენდას, რომლის თანახმად ყველა საქალაქო და სხვა სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლები შეგროვილი და გაწმენდილი უნდა იქნეს (დამაბინძურებელი ინტერეენტების მიხედვით ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციების ფარგლებში) წყალსატევებში მათ ჩაშვებად, კერძოდ:

- წყლის ობიექტების (მდინარეების, ტბების, წყალსაცავების და ა.შ.) დაცვა და წყლის რესურსების რაციონალური გამოყენება ახლანდელი და მომავალი თაობის ინტერესების და მდგრადი განვითარების პრინციპების გათვალისწინებით;
- წყლის მავნე ზემოქმედების თავიდან აცილება და შედეგების ეფექტური ლიკვიდაცია;
- წყლის ობიექტების მდგრადი გამოყენება კომპლექსური წყალ-სამეურნეო-მონოპოლიური დანიშნულებით (წყალმომარაგება, ჰიდროენერგეტიკა, მორწყვა, რეკრეაცია და ა.შ.);

- საქართველოს წყლების ეკოლოგიური ფასეულობების და ფუნქციების შენარჩუნება;
- ჩამდინარი წყლებით დაბინძურების ეკოლოგიური რისკის მინიმუმამდე დაყვანა და შემცირება, შესაბამისად, შესაძლო ზარალის თავიდან აცილება.

საკვლევი პრობლემის გადასაწყვეტად ნაშრომში წარმოდგენილია ჩვენ მიერვე შემუშავებული ნავთობ- და ცხიმშემცველი სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების გასაწმენდი მოწყობილობის ფილტრის შემავსებლად სორბენტის შერჩევა და მისი გამფილტრავ მასალად გამოყენების შესაძლებლობის გამოვლენა და დასაბუთება სერიული სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების ჩატარების საფუძველზე, კერძოდ:

1. სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო სახის ჩამდინარ წყლებში არსებული ნავთობ- და ცხიმშემცველი პროდუქტების დასაჭერად შეირჩევა და ექსპერიმენტულად გამოიცდება აქტიური საფილტრავი მასალა, რომელიც მოიპოვება საქართველოს პირობებში;

2. ნავთობ- და ცხიმშემცველი ჩამდინარი წყლების გასაწმენდი მოწყობილობის ავტოსამრეცხაოებსა და საზოგადოებრივი კვების ობიექტებზე დასანერგად შემუშავდება რეკომენდაციები;

4. შემუშავდება რეკომენდაციები ქალაქის მუნიციპალიტეტისთვის მიზნობრივი ეკოლოგიაორიენტირებული პოლიტიკის განსახორციელებლად, რაც ძირითადად გამოიხატება სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო წყლებიდან ნავთობ- და ცხიმშემცველი პროდუქტების (დამაბინძურებლების) მოცილებით ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციების ფარგლებში, ლოკალურად ადგილებზე, წყალარინების ქსელებში მათ ჩაშვებამდე;

5. შემუშავებულ ღონისძიებათა კომპლექსის ავტოსამრეცხაოებსა და სხვა დანიშნულების ობიექტებზე განხორციელებით მნიშვნელოვნად გაუმჯობესდება საქართველოს ქალაქების ჩამდინარი წყლების ხარისხი წყალსატევებში მათ ჩაშვებამდე (თბილისის პირობებში კი მიიღწევა გარდაბნის გამწმენდი სადგურის მუშაობისა და მდ. მტკვრის ეკოსისტემის გაუმჯობესება).

**თავი 1. ჩამდინარი წყლების ანალიზი და  
ზოგადი დახასიათება სხვადასხვა მაჩვენებლების  
მიხედვით**

**1.1. ბუნებრივი წყლების ქიმიურ შედგენილობაზე  
მოქმედი ფაქტორები და მათი ფიზიკურ ქიმიური  
შედგენილობის ძირითადი კომპონენტები**

წყალს დედამიწის ზედაპირის 3/4 უჭირავს. მისი საერთო რაოდენობა ჩვენს პლანეტაზე  $1.5 \cdot 10^{18}$  ტონაა. ოკეანეში წყლის მოცულობა 1370 მლნ კმ<sup>3</sup>-ია. ატმოსფეროში წყალი ორთქლის სახით არსებობს 12 კმ<sup>3</sup>-მდე. სულ ჰიდროსფეროში წყლის რაოდენობა 1400 მლნ კმ<sup>3</sup>-ია, აქედან 97.57 % ოკეანეშია, 2.1 % გვხვდება ყინულის სახით, 0.29 % მოდის ხმელეთის წყლებზე.

წყლისთვის დამახასიათებელია მუდმივობა. დედამიწის მოსახლეობა ყოველდღიურად 7 მლრდ ტონაზე მეტ წყალს იყენებს, მაგრამ მისი საერთო რაოდენობა არსებითად არ იცვლება. წყალს იყენებენ ცხოველური და მცენარეული ორგანიზმები, რაც იწვევს მისი თვისებების შეცვლას. მანქანათა ცილინდრებში, ორთქლის ქვაბებსა და ტურბინებში გავლისას წყალი იცვლის თავის ფიზიკურ და ქიმიურ თვისებებს. წყალს ერევა საღებავები, მჟავები, ტუტეები, მარილები, კვების პროდუქტები, შხამქიმიკატები და უამრავი სხვა ნივთიერება, რის შედეგადაც ხდება წყლის გაბინძურება, მაგრამ დროთა განმავლობაში იგი იბრუნებს თავის თვისებებს, კვლავ სუფთა და გამჭვირვალე ხდება. დიდი რაოდენობით წყალი ბინძურდება მრავალი ჩანადენის შერევის შედეგად, რის გამოც იგი ადამიანისათვის გამოუსადეგარი ხდება.

ბუნებაში არ არსებობს სუფთა წყალი, რადგან წყალი უნივერსალურ გამხსნელად ითვლება, თავისი მიმოქცევის გზაზე ხსნის ბევრ ნივთიერებას, ჰაერიდან კი გადადის აირადი ნივთიერებები. ბევრი ნივთიერება წყალში უხსნადია, მექანიკურად ერევა და მიჰყვება მას შეტივტივებულ მდგომარეობაში. მიწის ღრმა ფენებში წყალი განიცდის მაღალი ტემპერატურისა და წნევის გავლენას, რაც ხელს უწყობს ნივ-

თიერებათა გახსნას. წყალს მრავალი ნივთიერება ერევა სამრეწველო ჩამონადენებით და ამდიდრებს მის შედგენილობას.

ასეთი პროცესების შედეგად წყალში გროვდება მრავალი მყარი, თხევადი და აირადი ნივთიერება, როგორც ხსნად, ისე შეტივტივებულ და კოლოიდურ მდგომარეობაში [8].

**შეტივტივებული ნივთიერებები.** წვიმისა და თოვლის წყალი ნიადაგზე მოხვედრისას გადარეცხავს ქვიშისა და თიხის ნაწილაკებს. ეს ნაწილაკები წყალში ძნელად იხსნებიან და შეტივტივებულ მდგომარეობაში რჩებიან. შეტივტივებულ ნივთიერებათა არსებობა წყალში ხელს უშლის მის გამოყენებას სასმელად და საოჯახო საქმეებისათვის.

**იონები.** მიწის ქერქში მოძრაობისას წყალში იხსნება მარილები, რომლებიც ძლიერ ელექტროლიტებს წარმოადგენენ და თითქმის მთლიანად დისოცირებულია იონებად. წყალში ძირითადად გვხვდება კალციუმის, ნატრიუმის, მაგნიუმის, კალიუმის, რკინის კათიონები და ანიონებიდან – ძირითადად ქლორიდ- და სულფატიონები. ბუნებრივ წყლებს დაახლოებით ნეიტრალური რეაქცია აქვს.

იონები ერთმანეთისაგან განსხვავდება თვისებებით. ზოგი იონი ძლიერი საწამლაგია და მათი არსებობის გამო წყალი შეიძლება უვარგისი აღმოჩნდეს, მაგ., სტრონციუმი, ბერილიუმი, ტყვია, ნიტრატ-იონები ტოქსიკური ნივთიერებებია და წყალში მათი არსებობა დასაშვებია ძალიან მცირე კონცენტრაციებით.

**გახსნილი აირები.** ბუნებრივი წყლები ყოველთვის შეიცავს აირებს, ძირითადად ჟანგბადს, აზოტს, ნახშირბად (IV) ოქსიდს, მცირე რაოდენობით გვხვდება წყალბადი, მეთანი, გოგირდწყალბადი და სხვ. წყლებში გახსნილი აირები სხვადასხვა წარმოშობისაა. მათ 4 ჯგუფად ყოფენ, ესენია: ატმოსფერული, ბიოქიმიური, მეტამორფული, რადიოაქტიური.

1) ატმოსფერული წარმოშობის აირებია: ჟანგბადი, აზოტი და ინერტული აირები.

2) ბიოქიმიური წარმოშობის აირებია: მეთანი, ნახშირბადის (IV) ოქსიდი, გოგირდწყალბადი, მძიმე ნახშირწყალბადები, აზოტი, ჟანგბადი.

3) მეტამორფული აირებია: ნახშირბადის (IV) ოქსიდი, გოგირდწყალბადი, მეთანი, წყალბადი, ნახშირბადის (II) ოქსიდი, აზოტი, გოგირდის (IV) ოქსიდი.

4) რადიოაქტიური წარმოშობის აირებს მიეკუთვნება ჰელიუმი და რადონი.

ბუნებრივ წყლებში ფართოდ არის გავრცელებული მიკროელემენტები, რომელთაგან მნიშვნელოვანია იოდი. მას დიდი რაოდენობით შეიცავს ზღვის ფსკერის წყალმცენარეები. დიდი მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე ფთორს, რომლის განსაზღვრული კონცენტრაცია აუმჯობესებს სასმელი წყლის ხარისხს. ფთორი გვხვდება როგორც მტკნარ, ისე მინერალურ წყლებში. მინერალურ წყლებში მნიშვნელოვანი რაოდენობით არის ცეზიუმი, ლითიუმი, ბორი, რუბიდიუმი და სხვა მიკროელემენტები [9].

## 1.2. ჩამდინარი წყლების დახასიათება წარმოშობის მიხედვით

წარმოშობის მიხედვით ჩამდინარ წყლებს ძირითადად ყოფენ სამ ჯგუფად: 1) სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო, 2) სამრეწველო და 3) ატმოსფერული. ჩამდინარი წყლის ჩაშვება წყალსატევში შეიძლება უშუალოდ ან გაწმენდის შემდეგ, ეს დამოკიდებულია დაბინძურების ხარისხსა და მასზე წაყენებულ სანიტარულ მოთხოვნებზე. სამრეწველო ჩამდინარი წყლები წარმოიქმნება ნედლეულის მოპოვებისა და გადამუშავების დროს. ასეთი წყლები სამ ჯგუფად იყოფა:

- 1) შედარებით სუფთა,
- 2) მცირედ დაბინძურებული,
- 3) დაბინძურებული.

დაბინძურებული წყლები წინასწარ სუფთავდება და შემდეგ ხდება მისი ჩაშვება წყალსატევებში. სამრეწველო ჩამდინარი წყლები დაბინძურების მიხედვით იყოფა:

- 1) მინერალური ნივთიერებებით დაბინძურებული წყლები,
- 2) ორგანული ნივთიერებებით დაბინძურებული წყლები,
- 3) ორგანული და არაორგანული ნივთიერებებით დაბინძურებული წყლები.

სამრეწველო ჩამდინარი წყლების ქიმიური შედგენილობა დამოკიდებულია ძირითადად წარმოების ხასიათზე.

ჩამდინარი წყლები ერთმანეთისგან განსხვავდება როგორც თვისობრივი, ისე რაოდენობრივი შედგენილობით. მათში მინარევების კონცენტრაცია მერყეობს 1 მგ/დმ<sup>3</sup>-დან ათობით ათას მგ/დმ<sup>3</sup>-მდე.

წარმოებაში გამოყენებულმა წყალმა შეიძლება შეიძინოს ტუტის ან მჟავას თვისება, რომლის მიხედვითაც იცვლება მისი აგრესიულობის ხარისხი. ამის მიხედვით ჩამდინარ წყლებს ყოფენ 3 ჯგუფად:

- 1) სუსტად აგრესიული (pH = 6.0 – 6.5),
- 2) ძლიერ აგრესიული (pH < 6 ან pH > 9),
- 3) არააგრესიული (pH = 6.5 – 8.0).

სამრეწველო ჩამდინარი წყლების მინარევების ყველაზე გავრცელებული ჯგუფებია:

ნავთობი და ნავთობპროდუქტები, რომლებიც ძირითადად ნავთობმომპოვებელი და ნავთობგადამამუშავებელი დაწესებულებების ჩამდინარ წყლებში გვხვდება. ნავთობი წყალში არ იხსნება, მაგრამ მას ერევა შეტივტივებულ მდგომარეობაში. იგი შეიძლება არსებობდეს როგორც მაღალდისპერსიულ, ისე დაბალდისპერსიულ მდგომარეობაში.

ფენოლები წყალში ხვდება ფიქლების გადამამუშავების შედეგად. ფენოლები აგრეთვე დიდი რაოდენობით შედის კოქსქიმიური წარმოების ჩამდინარ წყლებში. ფენოლები მავნე გავლენას ახდენენ ცოცხალ ორგანიზმებზე, ამიტომ აუცილებელია ჩამდინარი წყლების გაწმენდა ფენოლებისაგან, რაც ძირითადად ექსტრაქციის გზით ხდება.

სულფიტური და სულფატური თუთქები ძირითადად ცელულოზის გადამამუშავების ჩამდინარ წყლებში გვხვდება. სულფიტური ცელულოზა მიიღება მერქნისაგან, რომელსაც ამუშავებენ Ca, Mg, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> და Na-ის ჰიდროსულფიტების გოგირდოვანი მჟავას ხსნარით მაღალ ტემპურატურაზე. ასეთ დამამუშავებას ეწოდება სულფიტური ხარშვა, რომელიც მეტად რთული პროცესია. მიღებული მასიდან გამოყოფენ ცელულოზას, რჩება ნახარში ხსნარი, რომელსაც სულფიტური თუთქი ეწოდება.

ცელულოზის წარმოებაში ნახმარი წყალი ყოველთვის შეიცავს სულფიტურ და სულფატურ თუთქებს.

ორგანული მჟავები არსებობს ქიმიური, კვების და მრავალი სხვა მრეწველობის ჩამდინარ წყლებში. მათგან ყველაზე მეტია ჭიანჭვე-

ლამქავა, ძმარმქავა, მქაუნმქავა, სალიცილისმქავა და სხვა. ორგანული მქავეები წარმოიქმნება თვით წყალშიც მრავალი ნივთიერების ქიმიური და ბიოლოგიური გარდაქმნის შედეგად. მქავეების არსებობა დაუშვებელია ჩამდინარ წყლებში, რადგან ასეთი წყალი იწვევს ლითონთა კოროზიას. ბიოქიმიურ პროცესებზე უარყოფითი ზემოქმედების გამო საჭიროა მქავეების შემცველი წყლების განეიტრალება.

აცეტონს შეიცავს ლაქსადებავების, ქიმიური, ფარმაცევტული, პლასტმასების და სხვა საწარმოების ჩამდინარი წყლები. თუ წყალში აცეტონის კონცენტრაცია 20 მგ/დმ<sup>3</sup>-ია, ის ანელებს წყლის ნიტრიფიკაციის პირველ ფაზას, ხოლო 100მგ/დმ<sup>3</sup> კონცენტრაცია ამ პროცესს ახშობს რამდენიმე დღით. აცეტონისაგან წყლის გაწმენდის ყველაზე ეფექტური მეთოდია მისი ბიოქიმიური დამუშავება.

არაორგანული მარილები ყოველთვის არსებობს როგორც ბუნებრივ, ისე ჩამდინარ წყლებში. ყველაზე გავრცელებულია კალციუმის, მაგნიუმის, ამონიუმის, ალუმინის, რკინის, სპილენძისა და მაგნიუმის მარილები.

მაღალი ტოქსიკურობა ახასიათებს დარიშხანის, ტყვიისა და სხვა ლითონების მარილებს, აგრეთვე, ციანიდებს, რომლებსაც წყალი გაღვანური საამქროებიდან იძენს.

ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები (ზან) წყალში გახსნისას ამცირებს მის ზედაპირულ დაჭიმულობას. ეს ნაერთები პოლარული აგებულებისაა და შედგება ჰიდროფილური და ჰიდროფობური ნაწილებისაგან. მათი ჰიდროფილური ნაწილია კარბოქსილის, სულფატის, სულფონატის ჯგუფები: ჰიდროფობური ნაწილია ალიფატური და არომატული ნახშირწყალბადების რადიკალები. ყველაზე მეტად გავრცელებულია ნაერთები, რომელთა მოლეკულის ერთი ბოლო ჰიდროფილურია, მეორე კი – ჰიდროფობური.

ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები ადვილად ადსორბირდება შეტივტივებულ ნაწილაკებსა და კოაგულანტების ფიფქებზე, რაც აადვილებს წყლიდან მათ მოცილებას. ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები ქმნის ქაფს წყლის ზედაპირზე, რაც დიდ ზიანს აყენებს სააერაციო ნაგებობებს და წყალსატევებს.

## 12.1. სამეურნეო-ფეკალური ჩამდინარი წყლების ქიმიური შედგენილობა

სამეურნეო-ფეკალური წყლების ფორმირება ხდება საჭმლის მომზადებისა და ჭურჭლის რეცხვის, სანიტარული რგოლების, სამრეცხაოების, აბანოებისა და სააბაზანოების მოქმედების შედეგად. ისინი დაბინძურებულია მრავალი ორგანული და არაორგანული ნივთიერებით, აგრეთვე, მიკროორგანიზმებით. ამ წყლების უბმ დღე-ღამეში მერყეობს 100-დან 400-მდე მგ/დმ<sup>3</sup>-ის ფარგლებში.

საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლებისათვის დამახასიათებელია დაახლოებით მუდმივი შედგენილობა. ისინი ძირითადად დაბინძურებულია მცენარეული და ცხოველური წარმოშობის ორგანული ნივთიერებებით, შეიცავს არაორგანულ ნივთიერებებსაც, რომელთაგან ძირითადია: ქვიშის, თიხის, წიღისა და ცარცის ნაწილაკები, მარილები. ასეთ წყალში არის როგორც ხსნადი, ისე უხსნადი ნივთიერებები, რომლებიც შეტივტივებულ, კოლოიდურ და ხსნად მდგომარეობაშია.

ჩამდინარი წყლების გაწმენდის მეთოდების შერჩევა ემყარება მათში შემავალი ნივთიერებების ბუნებას და მდგომარეობას. ისინი არსებობენ წყლებში შეტივტივებული და კოლოიდური ნაწილაკების სახით ან ხსნად მდგომარეობაში. თუ წყალს ორგანული ნივთიერებები ურევია, მათი გაწმენდა შეიძლება მიკროორგანიზმების ზემოქმედებით. მათზე გავლენას ახდენს აგრეთვე ტემპერატურა, წნევა, ჟანგბადი და სხვა რეაგენტები, რომლებსაც შეუძლიათ გამოიწვიონ კოაგულაცია, ჟანგვა-აღდგენა და სხვა ფიზიკურ-ქიმიური პროცესები.

არასაკმარისად გაწმენდილ წყალს შეუძლია დაარღვიოს წყალსატევების თვითგაწმენდის უნარი. ჩამდინარი წყლის შეტივტივებული ნაწილაკები იწვევს ლამის წარმოქმნას წყალსატევში. თუ ლამი ორგანული წარმოშობისაა, იგი იწვევს ბიოქიმიური ჟანგვის პროცესებს, რაზეც იხარჯება წყალში გახსნილი ჟანგბადი.

არასასურველ შედეგებს იწვევს ცხიმებისა და ზეთების მინარევები წყალში. ისინი წყლის ზედაპირზე ქმნიან ბრკეს, რაც ხელს უშლის მასში ჰაერის შეღწევას, ამიტომ შეიძლება წყალსატევში ჟანგბადის რეჟიმი დაირღვეს.

ძლიერ საშიშია მომწამლავ ნივთიერებათა შემცველობა ჩამდინარ წყლებში. ზოგი მათგანი იწვევს წყლის ბიოლოგიურ სტერილიზაციას და ხელს უწყობს ორგანიზმისათვის საშიში პათოგენური მიკროორგანიზმების განვითარებას [10].

## 1.2.2. სამეურნეო-ფეკალურ წყლებში შემავალ ნაერთთა ძირითადი ჯგუფები

### *ქალაქის ჩამდინარი წყლები*

ქალაქის ჩამდინარი წყლები ხასიათდება რთული და ცვალებადი შედგენილობით, რაზეც მრავალი ფაქტორი ახდენს გავლენას. ასეთი წყლების ხარისხი და შედგენილობა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული წყალსადენის წყლის ბუნებასა და რაოდენობაზე. ეს უკანასკნელი განსაზღვრავს მინარევების განზავების ხარისხს. რაც მეტია წყალსადენის წყლის რაოდენობა, რომელსაც იყენებს მოსახლეობა, მით ნაკლებია დაბინძურების ხარისხი, ე.ი. წყალში მოხვედრილი ნარჩენების კონცენტრაცია და მით უფრო ადვილად ტარდება ორგანულ ნივთიერებათა ბიოქიმიური დაშლა.

ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტორია წყალში გახსნილი ჟანგბადი. რაც უფრო მაღალია ჟანგბადის კონცენტრაცია წყალსადენის წყალში, მით უფრო ინტენსიურად ხდება მასში მოხვედრილი ორგანული ნივთიერებების ბიოქიმიური დაშლა. ჟანგვის პროცესები იწყება ქალაქის კოლექტორში და ხელს უწყობს ორგანულ ნივთიერებათა დაჟანგვას გამწმენდ ნაგებობებში. გახსნილ ჟანგბადს ყოველთვის შეიცავს ზედაპირული წყლები. მიწისქვეშა წყლებში ის თითქმის არ გვხვდება. წყალსაცავებში ჟანგბადი შედარებით დიდი რაოდენობით არის გახსნილი ზაფხულში, როცა წყალმცენარეები მასობრივად ვითარდება.

სამრეწველო ობიექტებზე ხშირად იყენებენ ტექნიკურ წყალს, რომელიც გაწმენდილია ნაწილობრივ, მაგრამ აკმაყოფილებს წარმოების პროცესის მოთხოვნებს. ტექნიკური წყლის ხარისხი გავლენას ახდენს ჩამდინარი წყლების შედგენილობასა და მათი გაწმენდის პროცესებზე.

ქალაქის ჩამდინარი წყლების შედგენილობაზე გავლენას ახდენს კოლექტორების სიგრძე. ქალაქის კოლექტორი თავისებური გამწმენდი

ნაგებობაა, მასში გავლისას წყალი აირევა, შეტივტივებული ნაწილაკები უფრო ინტენსიურად მოძრაობს, იზრდება მათი დისპერსიულობის ხარისხი, ზოგი გახსნილი ორგანული ნაერთი განიცდის ჰიდროლიზს. რაც უფრო გრძელია კოლექტორი, მით უფრო ეფექტურად მიმდინარეობს ეს ცვლილებები. როცა კოლექტორის სიგრძე მცირეა, გამწმენდ ნაგებობებში შედის ჩამდინარი სითხე, რომლის საწყისი შედგენილობა და თვისებები თითქმის უცვლელია.

ადამიანის ცხოველმოქმედებას მოსდევს ნარჩენების დაგროვება ბიოლოგიური და საწარმოო პროცესების შედეგად. ეს ნარჩენები თავს იყრის წყალში, რომელიც შემდეგ ხვდება წყალსატევში, საიდანაც ის იყო აღებული.

სასმელი წყლებისაგან განსხვავებით, ჩამდინარი წყლის ანალიზი ითვალისწინებს არა ცალკეული კომპონენტების, არამედ ნაერთთა ჯგუფების განსაზღვრას. ანალიზურ ლაბორატორიას აქვს რამდენიმე განყოფილება:

- 1) ჩამდინარი წყლის,
- 2) ნალექების,
- 3) ბიოლოგიური.

ჩამდინარი წყლების ანალიზის ძირითადი მიზანია:

- 1) წყლის დაბინძურების ხარისხისა და შედგენილობის განსაზღვრა, რის საფუძველზეც შესაძლებელია გაწმენდის მეთოდებისა და გამწმენდ ნაგებობათა კონსტრუქციების შერჩევა;
- 2) სასარგებლო მინარევების შემცველობის განსაზღვრა;
- 3) ჩამდინარი წყლების სხვადასხვა მასალასთან ურთიერთქმედების ბუნების გამოკვლევა;
- 4) წყალში ტოქსიკური მინარევების შემცველობის განსაზღვრა;
- 5) წყლის გაწმენდის კონტროლი.

### 12.3. ჩამდინარი წყლების რეაქცია

ჩამდინარი წყლების რეაქციას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება. ცნობილია, რომ მუავა წყლები შლიან კოლექტორების ნაწილებს, კიდევ უფრო დიდი ყურადღება ექცევა ჩამდინარი წყლების რეაქციას მათი გაწმენდის დროს.

დიდი მჟავიანობის ან ტუტეიანობის მქონე ჩამდინარი წყლები არ ჩაიშვებიან წყალსატევებში. ამ შემთხვევაში საჭიროა მათი განეიტრალება, რის შემდეგაც შეიძლება მათი ჩაშვება გამწმენდ მოწყობილობებში. გათვალისწინებულია, რომ წყალსადენის წყალი, რომელიც გამოიყენება სამეურნეო მიზნებისათვის და სასმელად, ყოველთვის უნდა იყოს სუსტი ტუტე რეაქციის მქონე, განსაზღვრული სუსტი ტუტე რეაქცია აქვს აგრეთვე სამეურნეო-ფეკალურ ჩამდინარ წყლებსაც. როგორც ცნობილია, რეაქცია შეიძლება გავიგოთ ლაკმუსის ქაღალდით, მაგრამ მისი გამოყენება მჟავურობის და ტუტეიანობის ხარისხის გასაგებად არ შეიძლება. მჟავურობის და ტუტეიანობის რაოდენობრივი განსაზღვრა დღეისათვის ხდება წყალბადიონების კონცენტრაციის მიხედვით. როგორც ცნობილია ქიმიიდან, წყლის მოლეკულები განიცდიან დისოციაციას წყალბად- და ჰიდროქსიდიონების წარმოქმნით:



ქიმიურად სუფთა წყალში წყალბადისა და ჰიდროქსიდის იონების კონცენტრაცია უმნიშვნელოა. კერძოდ, წყლის ელექტროგამტარობის მიხედვით ყოველი ათი მილიონი ლიტრი წყალი შეიცავს ერთ დისოცირებულ მოლეკულას, აქედან გამომდინარე, წყალბად- და ჰიდროქსიდიონების კონცენტრაცია უდრის  $10^{-7}$ , ე.ი.

$$[\text{H}^+] = 10^{-7}; \text{ აგრეთვე } [\text{OH}^-] = 10^{-7}.$$

მოქმედ მასათა კანონის თანახმად:

$$[\text{H}^+] [\text{OH}^-] = \text{const},$$

$$\text{ე.ი. } [\text{H}^+] [\text{OH}^-] = 10^{-14}.$$

ამ სიდიდეს წყლის იონური ნამრავლი ეწოდება და მისი მნიშვნელობა იცვლება 0-დან 14-მდე.

როცა  $[\text{H}^+] > 10^{-7}$ , რეაქცია არის მჟავური,

$$[\text{H}^+] < 10^{-7}, \text{ რეაქცია არის ტუტე,}$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-7}, \text{ რეაქცია არის ნეიტრალური.}$$

ხსნარის მჟავურობის დასახასიათებლად მოხერხებულია pH-ის გამოყენება, რომელიც არის წყალბადიონების კონცენტრაციის შეზღუდული სიდიდის ლოგარითმი:

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+], \text{ აქედან}$$

როცა  $pH > 7$  – ტუტე რეაქცია,  
 $pH < 7$  – მჟავური რეაქცია,  
 $pH = 7$  – ნეიტრალური რეაქცია.

***pH-ის განსაზღვრა შეიძლება კოლორომეტრული მეთოდით.***

დადგენილია, რომ სამეურნეო-ფეკალური წყლების  $pH = 7.2 \div 7.4$

ამ მეთოდით განსაზღვრული სამეურნეო-ფეკალური წყლებისათვის დამახასიათებელია სუსტი ტუტე რეაქცია არა უმეტეს  $1.2 \text{ სმ}^3$  ნორმალური ხსნარისა ერთ ლიტრზე.

წყალბადიონთა კონცენტრაციას დიდი მნიშვნელობა აქვს წყლის დამუშავების პროცესში. ჟანგვა-აღდგენის მრავალი რეაქცია ხშირად იცვლის მიმართულებას წყალბადიონთა კონცენტრაციის შეცვლით. წყალბადიონთა კონცენტრაცია არსებით გავლენას ახდენს ბიოქიმიური პროცესების მსვლელობაზე, კოაგულაციაზე, ორთქლის ქვაბებში მინადულის წარმოქმნასა და მისი თავიდან აცილების პირობებზე.

უმრავლეს ბუნებრივ წყლებს ახასიათებს  $pH$ -ის მუდმივობა (6.8–7.3) [11].

**1.2.4. ჩამდინარი წყლების კლასიფიკაცია  
ჟბმ და ჟქმ შეფარდების სიდიდის მიხედვით**

ჩამდინარი წყლები ყოველთვის შეიცავს ორგანულ ნივთიერებებს, რომელთა ჯამურ შემცველობას აფასებენ ჟ.ბ.მ, ჟ.ქ.მ და პერმანგანატული ჟანგვადობით.

ბიოქიმიურად ჟანგადი ორგანული ნივთიერებებით ძლიერ დაბინძურებული ჩამდინარი წყლებისათვის შეფარდება ჟბმ : ჟქმ  $< 0.5$ .

პირველი ჯგუფის წყლების გაწმენდა მიზანშეწონილია ბიოლოგიური მეთოდით, ხოლო მეორე ჯგუფისა – ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდებით.

წყლის ბიოქიმიური გაწმენდის პროცესში შეფარდება ჟბმ : ჟქმ მცირდება, მით უფრო ძლიერად, რაც უფრო ღრმად ხდება გაწმენდა. ეს შეფარდება შეიძლება შემცირდეს 14%-მდე. ამ დროს წყალში რჩება ძირითადად ბიოქიმიურად დაუჟანგავი ნივთიერებები.

## 1.2.5. ჩამდინარი წყლებში არსებული ნივთიერებების გაგლენა წყალსატევების სანიტარულ რეჟიმზე

თუ ჩამდინარი წყალი არ არის სათანადოდ გაწმენდილი, შეიძლება მისი წყალსატევში ჩაშვებისას წარმოიქმნას ლამი, რაც დამღუპველად მოქმედებს ცოცხალ ორგანიზმებზე. თუ ნალექი ორგანული ნივთიერებებისაგან შედგება, ის განიცდის ბიოქიმიურ გარდაქმნას, რაზედაც იხარჯება წყალში გახსნილი ჟანგბადი. ამის გამო წყალსატევის წყალს შეიძლება მოაკლდეს ჟანგბადი, დაკარგოს თვითგაწმენდის უნარი და თევზები მოისპოს.

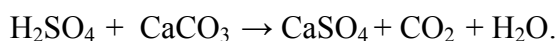
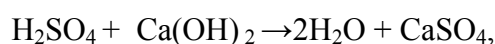
ჩამდინარ წყლებში შეიძლება იყოს გახსნილი ისეთი არაორგანული ნივთიერებები, რომლებიც განიცდიან ქიმიურ გარდაქმნებს, იცვლება წყლის წყალბადური მაჩვენებელი და წარმოიქმნება ლამი. ასეთი ნივთიერებებია: მჟავები, ტუტეები, სულფიდები, კირი, მძიმე ლითონების იონები.

თუ ჩამდინარ წყალში შერეულია ცხიმები და ზეთები, წყალსატევში მისი ჩაშვებისას წყლის ზედაპირზე წარმოიქმნება აფსკი, ეს კი ჰაერის შეღწევას და წყალსატევის სანიტარულ მდგომარეობას აუარესებს.

წყალსატევებზე მავნე გაგლენას ახდენს საღებავების, მორიმლავი ნივთიერებებისა და ფისების შემცველი ჩამდინარი წყლები, ეს ნივთიერებები იჟანგება, რაზეც იხარჯება თავისუფალი ჟანგბადი.

ჩამდინარ წყლებში მინერალურ ნივთიერებათა შემცველობა მშრალ ნაშთზე გადაანგარიშებით არ უნდა აღემატებოდეს 1000 მგ/დმ<sup>3</sup>-ს, ქლორიდების კონცენტრაცია დასაშვებია 350 მგ/დმ<sup>3</sup>, სულფიდების კი – 500 მგ/დმ<sup>3</sup>-მდე.

თუ წყალი მინერალურ მჟავებს შეიცავს, მის გასანეიტრალებლად იყენებენ ნებისმიერ ტუტეს, მაგრამ მეტად გამოსადეგია კირი (CaO) ან კალციუმისა და მაგნიუმის კარბონატები, რომლებსაც სუსპენზიების სახით იყენებენ. ეს რეაგენტები იაფი და ხელმისაწვდომია. თუ დასამუშავებელი წყალი გოგირდმჟავას შეიცავს, განეიტრალება შემდეგნაირად მიმდინარეობს:



სანიტარული წყლების გაწმენდისას ძირითადად გამოიყენება შემ-

დეგი წესები:

- 1) დაბალდისპერსიული შეტივტივებული ნაწილაკების მოცილება დალექვით და კოაგულაციით,
- 2) ექსტრაგირება,
- 3) აღსორბცია,
- 4) მუაგების და ფუძეების განეიტრალება,
- 5) ფლოტაცია,
- 6) დაქლორვა,
- 7) ქიმიური გაწმენდა,
- 8) ბიოქიმიური გაწმენდა.

### **12.6. შემცველ ნივთიერებათა უკიდურესად დასაშვები კონცენტრაციები (უდკ) და მათი განმსაზღვრელი ფაქტორები**

ჩამდინარი წყლების ჩაშვების რეგულირება ემყარება 3 დებულებას:

1) ხარისხისა და შედგენილობის ნორმატიული მაჩვენებლები დაწესებულია არა ჩამდინარ წყლებზე, არამედ იმ წყალსატევებზე, რომლებსაც ისინი ემატება;

2) ნორმატიულ მაჩვენებლებს სხვადასხვა მნიშვნელობა აქვს სხვადასხვა დანიშნულების წყლების მიმართ;

3) ნორმატიული მაჩვენებლები ვრცელდება წყალსატევის არა ნე-ბისმიერ უბანზე, არამედ ეხება ჩამდინარი წყლის ჩაშვების ადგილის ქვევით მდებარე ნაწილს.

წყალსატევის სანიტარული მდგომარეობა და მისი წყლის ხარისხი ადების ადგილზე უნდა შეესაბამებოდეს შემადგენელ ნივთიერებათა უკიდურესად დასაშვებ კონცენტრაციებს (უდკ), რომლებიც უარყოფითად არ მოქმედებს ადამიანის ორგანიზმზე და უზრუნველყოფს სამეურნეო-სასმელი ან კულტურულ-საყოფაცხოვრებო დანიშნულების წყლის გამოყენების ნორმალურ პირობებს.

მაგნე ნივთიერებათა უკიდურესად დასაშვებ კონცენტრაციებს (უდკ) განსაზღვრავენ ქიმიური და ბიოლოგიური გამოკვლევების საფუძველზე. ნივთიერების უკიდურესად დასაშვები კონცენტრაციის სიდიდეს ძირითადად მისი ბუნება განსაზღვრავს. მნიშვნელობა აქვს აგრეთვე სხვა ნივთიერებების თანაარსებობას [12].

**დამაბინძურებელ ნივთიერებათა უკიდურესად დასაშვები  
კონცენტრაცია წყალსატევის წყალში**

ცხრილი 1.1

ნივთიერება	მავნეობის განმსაზღვრელი მაჩვენებელი	უკიდურესად დასაშვები კონცენტრაცია, მგ/დმ <sup>3</sup>
ალდრინი	ორგანოლექტიკური	0.002
აცეტონციანჰიდრინი	სანიტარულ-ტოქსიკოლოგიური	0.001
ბერილიუმი	----	0.0002
დიეთილგერცხლისწყალი	----	0.0001
სელენი	----	0.001
ტეტრაეთილკალა	----	0.0002
ტეტრაეთილტყვია	----	-
ეთილმერკურქლორიდი	----	0.0001
ბუტაფოსი	ორგანოლექტიკური	0.0003
კაპტაქსი	----	-
მეთილმერკაპტანი	----	0.0002
სიმაზინი (უხსნადი)	----	-
თიურამი	----	-
ფენოლი	----	0.001
ფოზალონი	----	0.001
ტეტრაქლორონონანი	----	0.003
ტეტრაქლორპენტანი	----	0.005
თიოფოსი	----	0.003
ტრიქლორფენოლი	----	0.004
ტეტრაქლორჰექტანი	----	0.0025
ნიტრომეთანი	----	0.005
მეთილბენზოატი	----	0.001
იზოპრენი	----	0.005
დიქლორფენოლი	----	0.002
ო-დიქლორბენზოლი	----	0.002
ნ-დიქლორბენზოლი	----	0.002
ალტაქსი	----	-
ეთილაკრილატი	----	0.005

### 1.3. ჩამდინარი წყლების გაწმენდა

ჩამდინარი წყლების გაწმენდის მეთოდები იყოფა 2 ჯგუფად: დესტრუქციული და რეგენერაციული.

დესტრუქციული მეთოდები ითვალისწინებს დამაბინძურებელი ნივთიერებების ქიმიურ დაშლას და რეაქციის პროდუქტების წყლიდან მოშორებას გაზის ან ნალექის სახით. ამ მეთოდს მიეკუთვნება წყლის ბიოქიმიური გაწმენდა ხელოვნურ ნაგებობებში.

რეგენერაციული გაწმენდა ნიშნავს წყალში გახსნილი ნივთიერებების ამოკრებას და წარმოებაში კვლავ გამოყენებას. თუ რეგენერაციული დამუშავებით წყალი სათანადოდ ვერ გაიწმინდა, აუცილებელია დესტრუქციული მეთოდების გამოყენება.

*ჩამდინარი წყლების გაწმენდის რეაგენტული მეთოდები.* კოაგულანტებით წყალს ამუშავებენ მისგან მაღალდისპერსიული ნაწილაკებისა და კოლოიდური ნივთიერებების მოსაცილებლად.

დაბალდისპერსიული (უხეშდისპერსიული) ნაწილაკების მოსაცილებლად წყალს აყოვნებენ, რის შედეგად მსუბუქი ნაწილაკები ამოტივტივდება წყლის ზედაპირზე, მძიმე ნაწილაკები კი ილექება ფსკერზე. თუ დაწდობის პროცესი ნელა მიმდინარეობს, მიმართავენ კოაგულაციას. კოაგულანტის დოზას საზღვრავენ სასინჯი კოაგულაციის ჩატარებით. ჩამდინარი წყლების კოაგულაციისათვის იყენებენ რკინისა და ალუმინის მარილებს, აქტიურ სილიციუმსა და პოლიაკრილამიდს. კოაგულაცია შეიძლება ჩატარდეს pH-ის შეცვლით. ამ გზით გამოილექება ცილოვანი ნივთიერებები, რომლებიც ყოველთვის არსებობს ფეკალურ წყლებში.

ნეიტრალიზაციას იყენებენ მჟავების ან ტუტეების შემცველი წყლების დასამუშავებლად. ეს ნივთიერებები ემატება წყალს სამრეწველო დაწესებულებებში ტექნოლოგიური პროცესების შედეგად.

ყველაზე ხშირად სამრეწველო ჩამდინარ წყლებში არის გოგირდმჟავა, აზოტმჟავა, მარილმჟავა, შედარებით ნაკლებად – აზოტოვანი მჟავა, ფოსფორმჟავა, გოგირდწყალბადი, გოგირდოვანი მჟავა, ქრომმჟავა, ძმარმჟავა, მჟაუნმჟავა, სალიცილმჟავა, ჭიანჭველმჟავა. სამრეწველო ჩამდინარ წყლებში მჟავების შემცველობა ჩვეულებრივად მაღალი

არ არის (3%-მდე), მაგრამ ზოგ შემთხვევაში ძლიერ დიდია. სამრეწველო ობიექტებზე, სადაც ორგანული სინთეზი ტარდება, ჩამდინარი წყლები შეიცავს დიდი რაოდენობით (40%-მდე) გოგირდმჟავას.

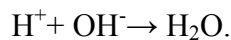
ჩამდინარი წყლების დამუშავებას ართულებს მათში მჟავებთან ერთად მძიმე ლითონების არსებობა, რადგან ნეიტრალურ და ტუტე არეში ისინი წარმოქმნიან ძნელად ხსნად ჰიდროქსიდებს, რომლებიც ილექება ფილტრების ზედაპირზე და ხელს უშლის მათ მოქმედებას.

მჟავას შემცველი წყლების განეიტრალება ნიშნავს წყალბადიონების კონცენტრაციის შემცირებას  $10^{-7}$  გ-იონ/დმ<sup>3</sup>-მდე ანუ pH-ის მატებას 7-მდე. ტუტის შემცველი წყლების განეიტრალება ნიშნავს ჰიდროქსილიონების კონცენტრაციის შემცირებას  $10^{-7}$  გ-იონ/დმ<sup>3</sup>-მდე ანუ pH-ის შემცირებას 7-მდე.

განეიტრალება ემყარება ჰიდროქსონიუმისა ( $H_3O^+$ ) და ჰიდროქსილის იონების ურთიერთქმედებას.



ან გამარტივებულად:



სამრეწველო ჩამდინარი წყლების დამუშავებისას აუცილებელი არ არის სრული განეიტრალება, ე.ი. წყალბადური მაჩვენებლის ზუსტად 7-მდე დაყვანა. საკმარისია წყლის წყალბადური მაჩვენებელი მოექცეს 6.5-დან 8.0-მდე ფარგლებში. მაშასადამე, ჩამდინარი წყლის ნეიტრალიზაცია უნდა ჩატარდეს იმ შემთხვევაში, თუ მისი წყალბადური მაჩვენებელი ნაკლებია 6.5-ზე ან მეტია 8.0-ზე. სამრეწველო ჩამდინარ წყლებში გაცილებით უფრო ხშირად გვხვდება მჟავები, ვიდრე ტუტეები.

განეიტრალება ხორციელდება ძირითადად სამი მეთოდით:

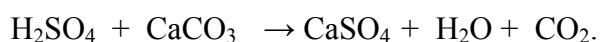
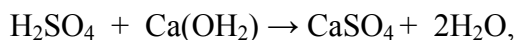
- 1) მჟავა და ტუტე წყლების ურთიერთქმედებით,
- 2) რეაგენტების დამატებით,
- 3) ისეთ მასალაში გაფილტვრით, რომელსაც შეუძლია განეიტრალება.

მჟავა და ტუტე წყლების ურთიერთგანეიტრალების მეთოდს ფართოდ იყენებენ ქიმიურ მრეწველობაში.

რეაგენტულ მეთოდს იყენებენ მაშინ, როდესაც სამრეწველო ობიექტებზე არსებობს მხოლოდ მჟავას ან ტუტის შემცველი ჩამდინარი

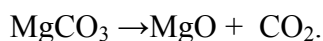
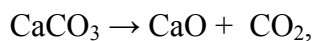
წყალი. ამ მეთოდს იყენებენ მეტწილად მჟავების გასანიტრალებლად. თუ წყალი მინერალურ მჟავებს შეიცავს, გასანიტრალებლად იყენებენ ნებისმიერ ტუტეს, მაგრამ უფრო გამოსადეგია კირი ან კალციუმისა და მაგნიუმის კარბონატები. კირს იყენებენ რძის, ხოლო კარბონატებს – სუსპენზიის სახით. ეს რეაგენტები იაფია და ხელმისაწვდომი.

თუ დასამუშავებელი წყალი გოგირდმჟავას შეიცავს, ნეიტრალიზაცია მიმდინარეობს შემდეგნაირად:



ნეიტრალიზაციის შედეგად მიღებული კალციუმის სულფატის კონცენტრაცია დამოკიდებულია მჟავას საწყის კონცენტრაციაზე. რადგან უმრავლეს შემთხვევაში გოგირდმჟავას კონცენტრაცია ჩამდინარ წყლებში მაღალი არ არის, კალციუმის სულფატის კონცენტრაციაც ასევე შედარებით მცირეა, ე.ი. მის მიმართ ხსნარი განზავებულია.

მუტაციური გაფილტვრა განეიტრალების ერთ-ერთი ძირითადი მეთოდია, რომელიც ფართოდ გამოიყენება ჩამდინარი წყლების დასამუშავებლად. ფილტრად იყენებენ კირქვას, ცარცს, დოლომიტს ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ) და გამომწვარ დოლომიტს ანუ “მაგნომასას”. დოლომიტის გამოწვისას კალციუმისა და მაგნიუმის კარბონატები იშლება ოქსიდებად:



ამიტომ გამომწვარი მასა ძირითადად ოქსიდებისაგან შედგება, მაგრამ შეიცავს საწყის კარბონატებსაც, რომლებიც დაუშლელი დარჩა, ამიტომ მაგნომასის შედგენილობას გამოსახავენ ფორმულით:



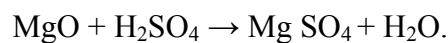
x, y, z და p სტექიომეტრული კოეფიციენტებია და აღნიშნავს მოცემული ნივთიერებების რაოდენობით თანაფარდობას მათ ნარევეში (მაგნომასაში).

გაფილტვრის სიჩქარე დამოკიდებულია ფილტრის მასალაზე და შეადგენს მაქსიმუმ 5 მ/სთ. ფილტრთან წყლის კონტაქტის ხანგრძლივობა არანაკლებ 10წთ.

განიტრალებას ხელს უშლის წყალში მძიმე ლითონების არსებობა, რადგან განეიტრალების შემდეგ, როდესაც წყალბადური მაჩვენებელი

ბელი 7-ს გადააჭარბებს, ისინი ილექება და შეუძლიათ ფილტრის გაჭედვა. მორეაგირე ფილტრების გამოყენება მიუღებელია ისეთი წყლის დასამუშავებლად, რომელშიც გოგირდმჟავას კონცენტრაცია 1.5 გ/დმ<sup>3</sup>-ზე მეტია, რადგან ფილტრთან შესებისას მასში წარმოქმნილი კალციუმის სულფატის კონცენტრაცია აღემატება მის ხსნადობას და ილექება. ნალექი ეფინება ფილტრს და ხელს უშლის მასთან მჟავას კონტაქტს, რითაც აბრკოლებს ნეიტრალიზაციას. ასეთი წყლების გასანიტრალეზებად უმჯობესია ფილტრთან მაგნიუმის კარბონატის გამოყენება. ამ შემთხვევაში ნეიტრალიზაციის პროდუქტია მაგნიუმის სულფატი, რომელიც წყალში ხსნადია.

აღნიშნული ფილტრებიდან ყველაზე უკეთესია მაგნომასა, რადგან მასში წყლის გაფილტვრისას მჟავას ანიტრალეზს ოქსიდები, ძირითადად კი მაგნიუმის ოქსიდი:



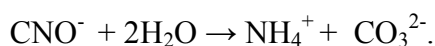
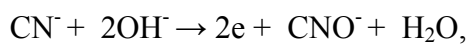
ჩამდინარი წყლების განეიტრალეზისათვის საჭირო დანადგარები (რეზერვუარები, მილსადენები, ტუმბოები და სხვა აპარატურა) უნდა დამზადდეს მჟავაგამძლე მასალისაგან.

**მჟანგავეებისა და აღმდგენების მოქმედება.** ჟანგვას იყენებენ ტოქსიკური ნივთიერებების შემცველი ჩამდინარი წყლების გასაუვნებლად, მჟანგავებად კი – ქლორს, კალციუმის ჰიპოქლორიტს, ნატრიუმის ჰიპოქლორიტს, ქლორკირს, ოზონსა და ჟანგბადს, აგრეთვე, წყალბადის პეროქსიდს, მანგანუმის ოქსიდებს, კალიუმის პერმანგანატსა და ბიქრომატს.

ქლორსა და მის შემცველ ნაერთებს ფართოდ იყენებენ ციანიდების, გოგირდწყალბადის, სულფიდების, მეთილმერკაპტანისა და სხვა ტოქსიკური ნივთიერებების შემცველი წყლების დასამუშავებლად.

ციანიდების შემცველი ჩამდინარი წყლების ფორმირება ხდება მანქანათსაშენ და ლითონდამამუშავებელ ქარხნებში, გალვანურ საამქროებში. გამდნარ ციანიდებში ლითონის ნაკეთობათა წრთობის შემდეგ მათ რეცხავენ, რის შედეგად მიიღება ამ ტოქსინების შემცველი ჩამდინარი წყლები. ასეთ წყლებში ციანიდების შემცველობა შეადგენს 20-დან 100-მდე მგ/დმ<sup>3</sup>.

ციანიდიონი (CN<sup>-</sup>) ადვილად იჟანგება და გარდაიქმნება ციანატ-იონად (CNO<sup>-</sup>), რომელიც შემდეგ ჰიდროლიზდება:



ამონიუმისა და კარბონატიონები, რომლებიც ამ რეაქციების შედეგად მიიღება, არატოქსიკურია.

### **რეგენერაციული გაწმენდა**

რეგენერაციულ მეთოდებს იყენებენ წყლიდან ძვირფასი მინარეგების ამოსაკრებად, წარმოებაში მათი ხელახლა გამოყენების მიზნით.

რეგენერაციული დამუშავებისას წყალი ისე არ იწმინდება, რომ შეიძლებოდეს მისი ჩაშვება წყალსატევში, ამიტომ აუცილებელია მისი დამატებითი გაწმენდა დესტრუქციული მეთოდებით.

ჩამდინარი წყლების გაწმენდისას გამოიყენება ძირითადად შემდეგი წესები: 1) დაბალდისპერსიული შეტივტივებული ნაწილაკების მოცილება დალექვითა და კოაგულაციით, 2) ექსტრაგირება, 3) ადსორბცია, 4) გადადენა წყლის ორთქლით (ევაპორაცია), 5) მჟავებისა და ფუძეების განეიტრალება, 6) ფლოტაცია, 7) დაქლორვა, 8) ქიმიური გაწმენდა, 9) კრისტალიზაცია, 10) ბიოლოგიური გაწმენდა, 11) ჩამდინარი წყლის ნალექის დადუღება ანაერობულ პირობებში.

## **1.4 ნავთობპროდუქტებით დაბინძურებული**

### **ჩამდინარი წყლების გაწმენდა**

ჩამდინარი წყლების ნავთობპროდუქტებისაგან გაწმენდა ადსორბციული მეთოდით საშუალებას იძლევა გაიწმინდოს ჩამდინარი წყალი ნებისმიერი მოთხოვნის დონემდე მასში რაიმე მეორადი დამაბინძურებლების შეტანის გარეშე. ამით გამოირჩევა წყლის გაწმენდის აღნიშნული მეთოდი რეაგენტულისაგან.

ნავთობპროდუქტების შემცველი ჩამდინარი წყლების გაწმენდა სორბენტების დახმარებით შეიძლება განხორციელდეს შემდეგი ხერხებით:

1) სორბენტებით შევსებული მოცურავე ბადეებით მოტივტივე ნავთობპროდუქტების შთანთქმით;

2) წყლის ზედაპირზე ფხვნილისებრი სორბენტების უშუალო შეტანით და ნავთობპროდუქტებით გაჯერებული სპეციალური მოწყობილობების საშუალებით.

3) ემულგირებული და გახსნილი ნავთობპროდუქტების შემცველი წყლის გაფილტვრით სორბენტების ფენებს შორის, წყლების ღრმა გაწმენდის მიზნით.

სორბენტებად გამოიყენება ბუნებრივი და ხელოვნური ფოროვანი მასალები: თერმულად დამუშავებული ალუმოსილიკატები, მაგ., პერლიტი, გააქტიურებული ნახშირი, ფოროვანი პოლიმერები, სხვადასხვა ბოჭკოვანი მასალები, ხის ბურბუშელა და სხვ.

აღსანიშნავია, რომ მასალები (ალუმინსილიკატები და ბაზალტის ბოჭკოები) როგორც წესი, საჭიროებენ სხვადასხვა ჰიდროფობიზატორებით დამუშავებას, რათა მათ ზედაპირს მიენიჭოს ოლეოფილური თვისებები.

გაფილტვრის მეთოდით ზედაპირული ნავთობის მოსაშორებლად და წყლის ღრმა გაწმენდისათვის რეკომენდებული შეიძლება იყოს როგორც აფუებული პერლიტები, ასევე ნახშირის სორბენტები, რომლებსაც ნავთობშემცველ პროდუქტებთან კონტაქტის დროს მაღალი შთანთქმის უნარი აქვთ.

ნავთობპროდუქტებისაგან წყლის ღრმად გაწმენდისათვის საუკეთესო გამფილტრავი სორბენტებია აგრეთვე გააქტიურებული ნახშირები. გააქტიურებული ნახშირით (1-1.2 მ ფენის სიმაღლის შემთხვევაში) ნავთობპროდუქტების შემცველი წყლის გაწმენდისას ფილტრაციის რეკომენდებულ სიჩქარედ აიღება 5-8 მ/სთ.

მაღალხარისხიანი გააქტიურებული ნახშირის მიღების პროცესი რთული და ხანგრძლივია, ამიტომ მისი ღირებულება საკმაოდ მაღალია. მაღალღირებულ გააქტიურებული ნახშირის ალტერნატივას წარმოადგენს აფუებული პერლიტი და ოლეოფილური სორბენტები მინერალურ მატარებლებზე. მატარებლების სახით გამოიყენება სხვადასხვა ფორიანი ალუმოსილიკატები: კერამიზიდი, პერლიტი, აფუებული ვერმიკულიტი, აგურის ფხვნილი და სხვა.

მატარებლების ზედაპირს ამუშავებენ სხვადასხვა მასალებით. ამ დროს დიდი მნიშვნელობა აქვს იმას, რომ ეს მასალები შეიცავდნენ

ისეთ რადიკალებს, რომლებიც რეაქციაში შევლენ მატარებლების ზედაპირთან. რეაქციის შედეგად წარმოიქმნება ისეთი ოლეოფილური ფენა, რომელიც წყლით არ ირეცხება.

ნავთობპროდუქტებით დაბინძურებული წყლის გაწმენდის მაღალი ხარისხის მისაღებად 10.05 მგ/ლ რეკომენდებულია, რომ ფილტრაციის სიჩქარე არ აღემატებოდეს 4 მ/სთ, როდესაც სორბენტების ფენის სისქე აიღება 0.7 მ. ასეთი სორბენტების ღირებულება 2-2.5-ჯერ ნაკლებია გააქტიურებული ნახშირის ფასზე.

ოლეოფილური სორბენტები მინერალურ საფუძველზე, როგორც წესი, გამოიყენება წყლების ფილტრაციით გაწმენდისათვის, თუმცა მათი შთანთქმის უნარი ნავთობპროდუქტებთან პირდაპირი კონტაქტის დროს შედარებით მცირეა – 6 კგ/კმ. ფილტრაციის დაბალი სიჩქარე (4 მ/სთ) ზღუდავს ამ სორბენტების გამოყენებას, რადგან მსხვილი ლოკალური გამწმენდების დანადგარების მშენებლობისათვის იზრდება კაპიტალური დანახარჯები. ფილტრაციის სიჩქარის 8მ/სთ-მდე გაზრდისათვის შესაძლებელია კომპლექსური სორბციული ჩასატვირთი მასალის გამოყენება, რომელიც ოლეოფილურ სორბენტებთან ერთად შეიცავს გრანულირებულ გააქტიურებულ ნახშირს. ეს ვარიანტი არა მხოლოდ ამცირებს სორბციულ დატვირთვას 1.5-2-ჯერ, არამედ მცირდება კაპიტალური დანახარჯებიც.

დღეისათვის გამოყენებული სორბენტებიდან განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს კარბამიდოფორმალდეჰიდური ფისები, რომლებიც პოლიკონდენსაციის პროცესში წარმოქმნიან მეტისმეტად განვითარებული ზედაპირის მქონე ქაფისმაგვარ სტრუქტურებს. ამ პოლიმერების გამორჩეული განსაკუთრებულობა არის მათ მიერ შთანთქმული ნავთობპროდუქტების ბიოლოგიური დაშლის სწრაფი უნარი [13-14].

ასეთი სორბენტების ნავთობტევადობა არის 47-86 კგ/კგ ზღვრებში. მათი მიღების პროცესი ტექნოლოგიურად რთული არ არის და შეიძლება მათი გამოყენება უშუალოდ სავსე პირობებში კატასტროფის ადგილზე სამრეწველო მასშტაბით ამ ტიპის სორბენტები გამოიყენება სავაჭრო მარკებით: ТУРБОСОРЬ, УНИПОЛИМЕР, НАФТОКС, СОРВОИЛ. წყლის ღრმა გაწმენდისათვის ფილტრაციის მეთოდით ეს სორბენტები არ გამოიყენება.

სხვა ხშირად გამოყენებული პოლიმერული სორბენტები წარმოადგენენ პენოპოლიურეთანის სხვადასხვა მოდიფიკაციებს, მათი განსხვავებული თვისებაა რეგენერაციის უნარი გამოწურვის მეთოდით.

ნავთობპროდუქტების შთანთქმის უნარი იცვლება 25-60 კგ/კგ ზღვრებში. გამოიცემა ფილების, გრანულების, ბალიშების სახით და შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც ნავთობპროდუქტებთან პირდაპირი კონტაქტისთვის, აგრეთვე ავარიული დაღვრის დროს და ძლიერ გაჭუჭყიანებული წყლების (50-50მგ/ლ) ფილტრაციისათვის. ამ დროს გაწმენდის ხარისხი არის 95%.

გარდა ზემოთ განხილული პოლიმერული სორბენტებისა, გამოიყენებიან პოლიეთილენზე და პოლიპროპილენზე დამზადებული სორბენტები ბოჭკოვანი ფურცლების, გრანულების სახით. მათი ნავთობპროდუქტების შთანთქმის უნარი პირდაპირი კონტაქტისას არის 15-18 კგ/კგ. გამოიყენებიან როგორც პირდაპირი კონტაქტისას ავარიული დაღვრის დროს, ასევე ე.წ. კოალერცენტურ ფილტრებში.

## **1.5 ჩამდინარი წყლების სრული ბიოლოგიური (ბიოქიმიური) გაწმენდის უზრუნველყოფის პრაქტიკული პირობები**

ზედაპირული წყლის ობიექტების (მდინარეების, ტბების, წყალსატევების) დაბინძურების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ინგრედიენტია ნავთობპროდუქტები. ამ დამაბინძურებლის წყარო შეიძლება იყოს წყალსატევების ზონაში განლაგებული საწვავ-საპოხი მასალის საწყობები, სადაც შეიძლება მათი შენახვის წესები ირღვეოდეს, აგრეთვე, ქალაქის წყალარინების სისტემაში სხვადასხვა სახის ობიექტებიდან (ავტოსამრეცხაოები, ავტოგასამართი სადგურები და სხვა) ლოკალური გაწმენდის გარეშე ჩაშვებული ჩამდინარი წყლები და სხვ.

წყლის დაბინძურების ხარისხი განისაზღვრება წყალსატევებში ჩასაშვები ჩამდინარი წყლების ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციის ინდექსის (ზდკ) მიხედვით. როგორც წესი, ეს მაჩვენებელი შეიძლება შედარებით მაღალი იყოს სეზონურად, ზაფხულის და შემოდგომის პერიოდებში, რომელთა სიდიდემ შეიძლება 3-4-ჯერ გადააჭარბოს დასაშ-

ვებს. თუმცა შესაძლოა ეს მაჩვენებელი სხვადასხვა წყალსატევებისათვის განსხვავებული იყოს.

ცნობილია, რომ გამწმენდი სადგურებიდან გაწმენდილი წყლის შედგენილობა თევზსამეურნეო დანიშნულების წყალსატევებში ჩაშვებამდე ზდკ-ს მიხედვით უნდა შეესაბამებოდეს შემდეგ მონაცემებს (მგ/ლ): ქანგბადის ქიმიური მოთხოვნა (ექმსრ) – 3.0; ამონიუმის აზოტი – 0.5; ფოსფორი (P) – 0.2; ნავთობპროდუქტები – 0.05; სპილენძი (Cu) – 0.001; თუთია (Zn) – 0.01; კადმიუმი (Cd) – 0.005; აგრეთვე [1]-ის თანახმად, ჩამდინარი წყლების გამწმენდი სადგურები უნდა ამუშავებდნენ სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ხასიათის წყლებს, რომლებშიც შეიძლება შერეული იყოს ნავთობპროდუქტები, აგრეთვე, ჩამდინარ წყლებში არსებული სხვადასხვა სახის ადსორბირებული დაბინძურებები და ა.შ. ზემოთ მოყვანილ ნორმატიულ მოთხოვნებს ხშირად ეს სადგურები ვერ უზრუნველყოფენ (ან წმენდენ შემოსული წყლების მხოლოდ 40%-ს, მექანიკური გაწმენდის დონემდე). სრული ბიოლოგიური გაწმენდა კი გულისხმობს ჩამდინარი წყლების გაწმენდას ნორმატიული მოთხოვნების დონეზე, წყალსატევებში ჩაშვებამდე.

ჩამდინარი წყლების სრული ბიოლოგიური გაწმენდა ნიშნავს გამწმენდ სადგურებში გადამუშავებით დამაბინძურებელი ბიოგენური ელემენტების (აზოტი და ფოსფორი) ბიოლოგიურ მოცილებას თანამედროვე საზღვარგარეთული ტექნოლოგიების გამოყენებით, რომლებიც წარმოადგენს ნიტრო-დენიტრიფიკაციისა და დეფოსფორიზაციის პროცესების კომბინაციას. ეს პროცესები საკმაოდ რთულია და მოითხოვს უცხოური დანადგარების გამოყენებას (პირველ რიგში, მექანიკურს ანაერობულ ბიორეაქტორებში მორვეისთვის). გარდა ამისა, ნიტრო-დენიტრიფიკაციისა და დეფოსფორიზაციის პროცესები ერთობლივად ხორციელდება მხოლოდ საწყის წყალში იმ ადვილად ქანგვადი ორგანიკის საკმარისი რაოდენობის არსებობისას, რომელიც ერთნაირად აუცილებელია სიცოცხლისუნარიანობისათვის ანაერობულ პირობებში, როგორც დენიტრიფიცირებადი ბიომასისთვის, ისე პოლიფოსფატების დაგროვების უნარის მქონე მიკროორგანიზმებისათვის. საქართველოს (და არამარტო საქართველოს) პირობებში, სადაც საქალაქო გამწმენდი ნაგებობების უმრავლესობაზე შემოდის დაბალკ-

ონცენტრირებული ჩამდინარი წყლები და მატერიალურ-ფინანსური რესურსების დეფიციტია, ასეთი ტექნოლოგიების პრაქტიკული დანერგვა ნაკლებად შესაძლებელი აღმოჩნდა, რადგან ტექნოლოგიური პროცესის საიმედოობის უზრუნველსაყოფად საჭიროა მნიშვნელოვანი კაპიტალდაბანდებები (ნაგებობის მოცულობის გაზრდა, დამატებითი აღჭურვილობის დადგმა) და საექსპლუატაციო ხარჯები (მიწოდებული ჰაერის რაოდენობის მომატება). ფოსფორის ბიოლოგიური მოცილების პროცესში მონაწილეობენ სხვა სახეობებიც, რომლებსაც უნარი შესწევთ დაუანგონ ორგანული ნივთიერებები დენიტრიფიკაციის პირობებში ანუ დაუანგვის პროცესში ელექტრონების აქცეპტორებად გამოიყენონ არაუანგბადი, არამედ ნიტრატ-იონი. მაშასადამე, ანაერობულ პირობებში ერთდროულად შეიძლება მოხდეს დენიტრიფიკაციისა და დეფოსფორიზაციის პროცესები მიკრობიალური ერთობლიობის კონკურენციის გარეშე ადვილად უანგვადი ორგანიკისათვის. ასეთი ტექნოლოგიის განხორციელება შესაძლებელია ჩვეულებრივი ტიპისა და ზომის აეროტენკებში სუსტად კონცენტრირებული წყლისათვის და ჰაერის რაოდენობის გაზრდის გარეშე.

თანამედროვე მიღწევებით სრული ბიოლოგიური გაწმენდის ნაგებობებში, ბიოგენური ელემენტების მოცილებისას და შეტივინარებული ნივთიერებებისა და ზდკ კონცენტრაციის მნიშვნელოვანი შემცირების მიზნით შემუშავებულია ტექნოლოგიები, რომლებიც ითვალისწინებენ ლამის გადაძუშავებას ორსაფეხურიანი ტექნოლოგიური სქემის გამოყენებით ოთხდერეფნიან აეროტენკებში. ასეთი ტექნოლოგიის არსებობის გამო, რაც მოითხოვდა საზღვარგარეთული აღჭურვილობის გამოყენებას. დენიტრიფიკაციის ზონაში აუცილებელი პირობების უზრუნველყოფის სადენიტრიფიკაციო დერეფნების სიგანე ორჯერ შეამცირეს ნიტრიფიკაციის დერეფნების სიგანესთან შედარებით, ხოლო მორევისთვის გამოიყენეს ჩვეულებრივი ნახვრეტებიანი მილებიდან მიწოდებული ჰაერი.

აღნიშნული ტექნოლოგია უზრუნველყოფს გამწმენდი ნაგებობების მუშაობას სრული ბიოლოგიური გაწმენდის ტექნოლოგიურ რეჟიმში. წყლის გაწმენდის ნაგებობის კომპლექსი შეიცავს; ოთხ ცხაურს (1800\*3000 მმ); ოთხ ჰორიზონტალურ ქვიშასაჭერს (22\*1.5 მ); ოთხ 40 მ

დიამეტრის ექვს მეორეულ დამლექს; 33 მ დიამეტრის ორ ლამის გამამკვრივებელს; ლამის სატუმბ სადგურს; ძირითად სამანქანო შენობას; სინჯების ავტომატური აღების პაველიონს; შემყვან და გამომყვან არხებს.

ტექნოლოგიური მონაცემების შესაბამისად მიღებულია აეროტენკების ხუთი ოთხდერეფნიანი სექცია, სადაც პირველი და მესამე გამოიყენება როგორც დენიტრიფიკატორი, ხოლო მეორე და მეოთხე – როგორც ნიტრიფიკატორი. აეროტენკების თითოეული სექციის მოცულობაა 57 ათასი მ<sup>3</sup>, სიგრძით 264 მ, სიღრმით 6 მ და ნიტრიფიკატორების სიგანე 12 მ. ჩამდინარი წყალი და უკულამი აეროტენკში მიეწოდება მართკუთხა ღია სადინარებით, რომელშიც აეროტენკში შესასვლელის წინ დადგმული პროპორციული პროფილის წყალგამტარებია. უკულამის მიწოდება მთლიანი მოცულობით (ჩამდინარი წყლის ხარჯის 100%) ხდება პირველ დერეფანში, ჩამდინარი წყლის მიწოდება საფეხურებრივია – პირველ და მესამე დერეფანში ხარჯის შესაძლო ვარიაციით (რეგულირებით). აერაციის სისტემა ნიტრიფიკატორებში პნევმატურია ფილტროსული ფირფიტების გავლით, რომლებიც მოთავსებულია რკინაბეტონის არხებში გრძივი კედლების გასწვრივ, ხოლო დენიტრიფიკაციის დერეფნები აერირდება გრძივი ნახვრეტებიანი მილებით, მხოლოდ ლამის ნარევის შეტივანარებულ მდგომარეობაში შესანარჩუნებლად.

ლამის ნარევის დალექვა ხდება 54 მ დიამეტრის ექვს რადიალურ დამლექში, დალექვის 5 მ სიღრმის ზონით, დალექვის საშუალო დრო  $t_{საშ} = 3.3$  სთ.

ლამის ნარევი დამლექებში მიეწოდება აეროტენკის შემკრები არხიდან, განიერი ზღურბლის ჩაუძირავი წყალგამშვები ატურვილია იმ კამერების გავლით, რომლებიც უზრუნველყოფენ ლამის ნარევის თანაბარ განაწილებას დამლექებს შორის. უკულამი დამლექებიდან გამოდის ჰიდროსტატიკური წნევის ქვეშ ორფრთიანი ლამის საფხეკების საშუალებით ოთხუჯრედიან ლამის კამერებში, რომლებიც ატურვილია რეგულირებადი გადამსხმელი წიბოებით.

უკულამი გადაიტუმბება ლამის სატუმბ სადგურში დადგმული ტუმბოებით, სადაც ასევე განლაგებულია ბიოლოგიური გაწმენდის

ნაგებობების დაცლის სისტემის ტუმბოები. ჭარბი აქტიური ლამი ერთ-ლიფტის საშუალებით მიეწოდება აეროტენკის უკუღამის გამანაწილებელი არხიდან 33 მ დიამეტრის ორ რადიალურ მამკერივებელში, სამუშაო სიღრმით 3.5 მ, გამკერივების საშუალო დროით  $t_{საშ} = 11$  სთ. ჰაერის მისაწოდებლად მთავარ სამანქანო დარბაზში დადგმულია 800 მ<sup>3</sup>/წთ მწარმოებლობის რვა დამწნეხი (ორი სარეზერვო).

აღსანიშნავია, რომ ბიოლოგიური გაწმენდის ნაგებობების ტექნოლოგიური გამართვა დაიწყო 1998 წ. აპრილში. ნაგებობები სამუშაოდ მოამზადეს ერთსაფეხურიანი სქემით: მოახდინეს გაუფერულებული წყლის მთლიანი გასაველის (500 ათასი მ<sup>3</sup>/დღე) თანაბარი მიწოდება აეროტენკის პირველ დერეფანში; დაამყარეს უკუაქტიური ლამის 100 %-იანი რეჟიმი და იგი თანაბრად გაანაწილეს აეროტენკის პირველ დერეფნებში; ლამის ნარევის დაყოფის ხარისხის მიხედვით ვიზუალურად დაადგინეს ჰაერის მინიმალურად შესაძლებელი მიწოდება აეროტენკის პირველ და მესამე დერეფანში (ლამის შეტივნარებულ მდგომარეობაში შესანარჩუნებლად); ლამის დოზა აეროტენკებში საშუალო კონცენტრაციამდე გაზარდეს მეოთხე დერეფნის ბოლოში – 3 გ/ლ, ნაგებობებში ლამის არანაკლებ 25 დღე-ღამის ვადით შენარჩუნებისათვის; შეინარჩუნეს გახსნილი ჟანგბადის კონცენტრაცია მეოთხე დერეფნის ბოლოში არა უმეტეს 6 მგ/ლ.

ნაგებობების რეჟიმში გასველის შემდეგ გაუფერულებული და გაწმენდილი ჩამდინარი წყლის საკონტროლო ანალიზი ნაგებობების მთელს ბლოკში კვირაში ორჯერ ჩაატარეს შემდეგი მაჩვენებლის მიხედვით: შეტივნარებული ნივთიერებები, უბმლ, აზოტის ფორმები (საერთო, N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>), ფოსფატები (P-მიხედვით) და P<sub>საერთო</sub>.

ერთ-ერთ აეროტენკში (საკონტროლოში) დამატებით განისაზღვრებოდა ნაგებობის სიგრძეზე ლამის დოზის, ლამის ინდექსის, გახსნილი ჟანგბადისა და აზოტის ნაერთების ცვლილება. მოცემულ ტექნოლოგიურ რეჟიმში ნაგებობები მუშაობდა 3 თვის განმავლობაში. განისაზღვრა მთელი ბლოკის მუშაობის გასაშუალოებული ტექნოლოგიური მახასიათებლები (პირველი რეჟიმი). გასაწმენდად შემოსული წყლის ხარისხის მაჩვენებლები მნიშვნელოვნად იცვლებოდა დროში და საშუ-

აღო საპროექტოზე ნაკლები იყო შეტივწარებული ნივთიერებებისათვის 39 მგ/ლ-ით, უბმლ – 89 მგ/ლ-ით და N-NH<sub>4</sub> – 7.5 მგ/ლ-ით.

პროფილური ტექნოლოგიური მაჩვენებლები აეროტენკების სიგრძის მიხედვით შემდეგნაირად იცვლებოდა: აქტიური ლამის კონცენტრაციამ აეროტენკის პირველი დერეფნის (დენიტრიფიკატორის) ბოლოში მიაღწია გარკვეულ სიდიდეს და შემდგომში აღარ იცვლებოდა, მეოთხე დერეფნის ბოლოში საშუალოდ შეადგინა 3.1 მგ/ლ; ლამის ინდექსი საშუალოდ აეროტენკის მთელ სიგრძეზე 81-ის ტოლია; მნიშვნელოვანი ცვლილებები აღინიშნება გახსნილი ჟანგბადის კონცენტრაციაშიც – 2.3 მგ/ლ-მდე, პირველი დერეფნის ბოლოში, 5 მგ/ლ-მდე, გამოსასვლელში N-NH<sub>4</sub> – 11.11-დან 0.36 მგ/ლ-მდე; N-NO<sub>3</sub> – 0.87-დან 8.19 მგ/ლ-მდე, სინჯის აღების იმავე წერტილებში.

მიუხედავად დამაბინძურებლების კონცენტრაციის მნიშვნელოვანი ცვლილებისა გაუფერულებულ ჩამდინარ წყალში, გაწმენდილი წყლის ხარისხის მაჩვენებლები ტექნოლოგიური რეჟიმის მოქმედების მთელი პერიოდის განმავლობაში უმნიშვნელოდ იცვლებოდა და ძალიან მაღალი იყო – პროექტით გათვალისწინებულზე გაცილებით უკეთესი. აღინიშნება მხოლოდ ზდკ-ს გარკვეული გადაჭარბება თევზსამეურნეო წყალსაცავებში N-NO<sub>3</sub> ფორმით (9.53, ნაცვლად აუცილებელი 9.1 მგ/ლ-ისა). N-NO<sub>3</sub> მაჩვენებლის გაუმჯობესებისათვის (ანუ დენიტრიფიკაციის პროცესის გასაღრმავებლად) ბიოლოგიური გაწმენდის ნაგებობები გადაიყვანეს ორსაფეხურიან ტექნოლოგიურ სქემაზე მუშაობის რეჟიმში, როდესაც პირველ დერეფანში მიეწოდება გაუფერულებული წყლის გასავლის 50 %, დანარჩენი ნაწილი კი – მესამეში. შედეგად ორჯერ იზრდება დენიტრიფიკატორის მოცულობა და მასში ყოფნის დრო, ჩამდინარი წყლის გაწმენდის დანარჩენი ტექნოლოგიური პირობები არ იცვლება.

ამ ტექნოლოგიურ რეჟიმში ნაგებობებმა იმუშავა სამი თვე, ტექნოლოგიური კონტროლის წესი კი უცვლელი რჩებოდა. განისაზღვრა მთელი ბლოკის მუშაობის გასაშუალოებული ტექნოლოგიური მახასიათებლები (მეოთხე რეჟიმი), ისევე, როგორც პირველ რეჟიმში. ამავე დროს, გასაწმენდად შემოსული წყლის ხარისხის მაჩვენებლები მნიშვნელოვნად იცვლებოდა დროში და საპროექტოზე დაბალი იყო.

აქტიური ლამის დოზა საშუალოდ 4.7 გ/ლ-ით შემცირდა პირველი დერეფნის ბოლოში, 3.7 გ/ლ-მდე – მესამე დერეფნის ბოლოში და აეროტენკიდან გამოსვლისას პრაქტიკულად უცვლელი რჩებოდა 81-ის ტოლი. ამავე დროს, გახსნილი ჟანგბადის კონცენტრაცია, რჩებოდა რა პრაქტიკულად ერთნაირი პირველი დერეფნის ბოლოდან მესამე დერეფნის ბოლომდე, აეროტენკებში ბოლოში მნიშვნელოვნად მატულობდა და აღწევდა საშუალოდ 4.2 მგ/ლ-ს. გაწმენდილი ჩამდინარი წყლის ხარისხის მაჩვენებლები მთელი პერიოდის განმავლობაში (ისევე, როგორც პირველ რეჟიმში) რჩებოდა სტაბილური და ძალიან მაღალი. N-NO<sub>3</sub> კონცენტრაცია, პირველ რეჟიმთან შედარებით 7.8 მგ/ლ-ით შემცირდა, რამაც დაადასტურა მეორე რეჟიმზე გადასვლის მართებულობა. ჟანგბადის ამონიუმისა და ნიტრატის აზოტის კონცენტრაციის მიახლოებითი პროფილი ოთხდერეფნიან აეროტენკში, რომელიც უზრუნველყოფს აზოტის ფორმების ზდკ-ს თევზსამეურნეო წყალსაცავებში.

გაუფერულებული ჩამდინარი წყლის დაბინძურების, ნაგებობების მწარმოებლურობის, აქტიური ლამის გასავლის მახასიათებლების, ჰაერის კუთრი რაოდენობის და მეორეული მუშაობის ტექნოლოგიური მახასიათებლების საშუალო მნიშვნელობებზე დაყრდნობით დასაშვებია ჩაითვალოს, რომ ბიოლოგიური გაწმენდის ნაგებობები პირველ და მეორე რეჟიმში მუშაობდა შედარებით ერთნაირ პირობებში. განსხვავება ისაა, რომ პირველ რეჟიმში ლამის დოზა ერთნაირი რჩება აეროტენკის მთელს სიგრძეზე, მეორე რეჟიმში კი იგი მაქსიმალურია პირველი დერეფნის ბოლოში და საშუალო მნიშვნელობამდე მცირდება მესამეს ბოლოში. პრაქტიკულად, პირველ შემთხვევაში რეალიზებულია ოთხდერეფნიანი აეროტენკის მუშაობის ჩვეულებრივი სქემა აქტიური ლამის რეგენერაციის გარეშე, მეორეში კი – აქტიურ ლამზე საფეხურებრივი დატვირთვის ტექნოლოგიური სქემა. ლამის მშრალი ნივთიერების ბალანსის გამოთვლით დადგინდა, რომ ლამის ასაკი როგორც პირველ, ისე მეორე რეჟიმში 20 დღე-ღამეზე მეტია. მაგრამ, მეორე რეჟიმში ლამის დოზა მნიშვნელოვნად მეტი იყო, ვიდრე პირველში, რამაც განაპირობა მასი ასაკის გაზრდა და დენიტრიფიკაციის უფრო ღრმა ხარისხი. სწორედ ამით აიხსნება მეორე რეჟიმში ნიტრატული აზოტის კონცენტრაციის მნიშვნელოვანი შემცირება – 7.8 მგ/ლ, რაც გაცილურ

ბით ნაკლებია თევზსამეურნეო წყალმომარაგების საცავების მოთხოვნილ ზღვაზე.

ამრიგად, მსხვილი ზომის ნაგებობების პრაქტიკული ექსპლუატაციის პირობებში სუსტად კონცენტრირებულ ჩამდინარ წყლებზე დადგენილია სტაბილური დრმა ბიოლოგიური გაწმენდის შესაძლებლობა. დენიტრი-ნიტრიფიკაციის ორსაფეხურიანი ტექნოლოგიური პროცესი გაუფერულებული წყლის მიწოდებით აეროტენკის პირველ და მესამე დერეფანში უფრო ხელსაყრელია და უზრუნველყოფს გაწმენდილი ჩამდინარი წყლის მაღალ მაჩვენებელს: შეტივარებული ნიტოიერებები  $\leq 7$  მგ/ლ;  $\text{BPK} \leq 3$  მგ/ლ;  $\text{N-NH}_4 \leq 0.4$  მგ/ლ;  $\text{N-NO}_3 \leq 7.8$  მგ/ლ; და საერთო  $\text{P}_{\text{საერ.}} \leq 2.5$  მგ/ლ, რაც მნიშვნელოვნად აღემატება საპროექტო მაჩვენებლებს, ხოლო აზოტის ფორმების მიხედვით უზრუნველყოფს თევზის მეურნეობის წყალმომარაგების საცავების ნორმატიულ მოთხოვნებს.

ამრიგად, აღწერილი ტექნოლოგიისა და ხანგრძლივი ექსპლუატაციის შედეგები სრული ბიოლოგიური გაწმენდის რეჟიმში ფართო შესაძლებლობებს იძლევა ჩვეულებრივი ოთხდერეფნიანი აეროტენკების მოდერნიზაციისათვის ნიტრი-დენიტრიფიკაციის და დეფოსფატიზაციის პროცესების უზრუნველყოფით ანაერობული ზონების მექანიკური ან ჰიდრაულიკური მორევის გარეშე. საორიენტაციოდ, ასეთ რეჟიმში ნაგებობების მუშაობის ძირითადი ტექნიკური მახასიათებლები შემდეგი უნდა იყოს: უკუაქტიური ლამის კონცენტრაცია (დოზა) – 5.5–7.5 გ/ლ; აქტიური ლამის კონცენტრაცია (დოზა) აეროტენკის მეოთხე დერეფნის ბოლოში 2.5–3.5 გ/ლ; აქტიური ლამის ასაკი 20–25 დღე-ღამე. ჟანგბადის კონცენტრაცია დენიტრიფიკაციის ზონაში 1 მგ/ლ-ს არ უნდა აღემატებოდეს ნებისმიერ წერტილში, ხოლო გასსნილი ჟანგბადის კონცენტრაცია ნიტრიფიკაციის ზონების ბოლოში – 7 მგ/ლ-ს.

თავი 2. აღსორბციის ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების  
დახასიათება და მათი ბამოქმენების უმსაქლებლოებო  
ნავთობ- და ცხიმუმცველი ჩამდინარი წყლების ბაწმენდაში

2.1. აღსორბციის პროცესი

ფიზიკურ-ქიმიურ პროცესებში, რომლებსაც ემყარება წყლის დამუშავება, მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს აღსორბციას. აღსორბცია არის მყარი სხეულის ზედაპირზე ატომებისა და მოლეკულების დაგროვების პროცესი. აღსორბციას განაპირობებს მოლეკულებს შორის შეჭიდულობის ძალები, რომლებიც უფრო ძლიერია მყარ სხეულებში, ვიდრე სითხეებსა და აირებში.

ნივთიერების მოლეკულები განსხვავდება თავისი მდგომარეობით. მყარი ნივთიერებების შიგა ფენებში არსებული მოლეკულები ურთიერთქმედებენ გარემომცველ მოლეკულებთან, იზიდავენ მათ და თვითონაც მიიზიდებიან, ამიტომ მათ არ რჩებათ თავისუფალი შეჭიდულობის ძალები. ზედაპირზე მოთავსებული მოლეკულები ურთიერთქმედებენ შიგა ფენებში მოთავსებულ მოლეკულებთან, გარეთ მიმართული ძალები კი თავისუფალი აქვთ, ე.ი. მათ აქვთ ზედაპირული ენერგია, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია დისპერსიულობის ხარისხზე. რაც უფრო მეტად არის დაქუცმაცებული ნივთიერება, მით მეტია საერთო ზედაპირი და, შესაბამისად, მისი ზედაპირული ენერგიაც, ენერგიის სიდიდე კი განსაზღვრავს ნივთიერების აღსორბციის უნარს.

მყარი აღსორბენტების უმრავლესობას აქვს სწორი ზედაპირი. ისინი გამოირჩევიან აღსორბციული თვისებების სხვადასხვაობით. ყველაზე აქტიურ ადგილებს აღსორბენტის ზედაპირზე წარმოადგენს ამობურცული ადგილები, ხოლო ნაკლებ აქტიურ ადგილებს – ჩაღრმავებები. მცირე კონცენტრაციის დროს ნივთიერების აღსორბცია მიმდინარეობს მხოლოდ აღსორბენტის ამობურცული წვეროებით, კონცენტრაციის გაზრდისას ხდება ნაკლებაქტიური ადგილების დაკავება აღსორბირებული ნივთიერებების მოლეკულებით.

აღსორბცია დინამიკური პროცესია: აღსორბენტის ზედაპირზე განუწყვეტლივ გადადის მოლეკულები მოსაზღვრე ფაზიდან, მაგრამ,

ამავე დროს, ხდება შებრუნებული პროცესიც, ადსორბენტის ზედაპირიდან მოლეკულები გადადიან გარემოში, ე.ი. ხდება დესორბცია. შექცევად პროცესებში მყარდება წონასწორობა, როცა ადსორბენტში გარემოდან გადასული მოლეკულების რიცხვი დროის ერთეულში ტოლია დესორბირებული მოლეკულების რიცხვისა. ადსორბციის სიდიდე დამოკიდებულია ადსორბტივის კონცენტრაციაზე, გარემოსა და ტემპერატურაზე. კონცენტრაციის გაზრდით ადსორბცია მცირდება და დესორბცია იზრდება.

ადსორბციის პროცესის დროს ფაზების შემადგენელი ნივთიერებები გამყოფი ზედაპირისაკენ გადაადგილდება და თავს იყრის მის ახლოს. ხდება მათი კონცენტრაციის გაზრდა ფაზის თხელ ფენაში. ეს ნივთიერებები ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებებს წარმოადგენენ.

ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები პოლარული ნაერთებია, შეიცავს როგორც ჰიდროფილურ, ასევე ჰიდროფობურ ჯგუფებს. ჰიდროფილურ ნაწილს შეადგენს კარბოქსილ-იონები ( $\text{COO}^-$ ), სულფატ-იონები ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), აზოტ-შემცველი ჯგუფები და სხვ. ჰიდროფობურ ნაწილს შეადგენს პარაფინის ჯაჭვი, ბენზოლის რგოლი და ა.შ. ჰიდროფილური და ჰიდროფობური ჯგუფების მდებარეობა მოლეკულებში სხვადასხვანაირია, შეიძლება მოლეკულის ერთი ბოლო იყოს ჰიდროფილური, მეორე კი ჰიდროფობური. რადგან წყალი პოლარული არეა, მის მიმართ ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების მოლეკულები ორიენტირდება გარკვეული წესით: მათი ჰიდროფილური ნაწილი მიისწრაფვის წყლისაკენ, ხოლო ჰიდროფობური ნაწილი – არაპოლარული არისაკენ. ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების მაღალ ადსორბციულ უნარს დიდი მნიშვნელობა აქვს წყლის გაწმენდის პროცესში. ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები გამოიყენება სინთეზურ გამრეცხ საშუალებათა წარმოებასა და მრეწველობის მრავალ დარგში. ადსორბციული ხერხი გაწმენდის უნივერსალური ხერხია და საშუალებას იძლევა მრავალკომპონენტიანი ჩამდინარი წყლიდან გამოყოფილ იქნეს პრაქტიკულად ყველა სახის დაბინძურებები. გარდა ამისა, გაწმენდის ადსორბციული ხერხი ეფექტურია სორბატის ნებისმიერი კონცენტრაციის დროს, მათ შორის, მცირე კონცენტრაციისთვისაც, რომლის დროსაც გაწმენდის სხვა ხერხები არაეფექტურია [15].

აღსორბციის თეორიისათვის განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს აღსორბციული კავშირის ენერჯის განსაზღვრას და აღსორბციულ ფენაში ნივთიერების მდგომარეობის გამოკვლევას. ამასთან დაკავშირებით შეიქმნა აღსორბციული წონასწორობის შესახებ სხვადასხვა თეორიები, რომლებიც ითვალისწინებს აღსორბციას ენერგეტიკულად ერთნაირ ზედაპირზე. ამ საკითხების გადაწყვეტაში დიდი როლი ითამაშა ფრენკელმა, რომელმაც შემოიტანა ცნება მყარი ნივთიერებების ზედაპირზე სორბატის მოლეკულების დაჭერის დროის შესახებ:

$$\tau = \tau_0 \times P(Q/RT), \quad (2.1)$$

სადაც  $\tau_0$  არის მყარი სხეულის ატომებისა და მოლეკულების რხევის პერიოდი;  $Q$  – აღსორბციის სითბო;  $T$  – აბსოლუტური ტემპერატურა.

ეს სიდიდე დამოკიდებულია როგორც აღსორბენტის და აღსორბატის ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებზე, ასევე მყარი სხეულის ზედაპირის და აღსორბირებული ნივთიერებების ურთიერთქმედების სახეობაზე. იგი დიდ ზღვრებში იცვლება და მისი მნიშვნელობის მიხედვით აღსორბციას ყოფენ ფიზიკურ და ქიმიურ აღსორბციებად [16].

ფიზიკური აღსორბცია განისაზღვრება აღსორბციის სითბოთი, რომელიც არ უნდა აღემატებოდეს 62.8 კჯოულ/მოლს. ფიზიკური აღსორბციის დროს მყარი სხეულის ზედაპირის მიერ მოლეკულების დაჭერის დრო – მცირეა, ამასთანავე, ფიზიკური აღსორბციის პროცესი შექცევადია.

აღსორბციის ხარისხობრივ მხარეს კარგად ახასიათებს ფრენკელის განტოლება.

აღსორბციის რაოდენობრივი მხარე წონასწორულ მდგომარეობაში გამოისახება აღსორბციის იზოთერმით. აღსორბციის იზოთერმა გამოიყენება სხვადასხვა პარამეტრების გათვლისათვის, კერძოდ, აღსორბციის სითბოს, აღსორბციული ფაზის სიმკვრივის, აღსორბციული პროცესების მამოძრავებელი ძალების განსაზღვრისათვის.

აღსორბციული იზოთერმის ერთ-ერთი პირველი განტოლება იყო ფრეინდლიხის განტოლება:

$$a = Kp^{\frac{1}{n}}. \quad (2.2)$$

$K$  და  $P$  მუდმივები დამოკიდებულია სორბენტისა და სორბატის ბუნებაზე.  $P$  არის აღსორბირებული ნივთიერებების პარციალური წნევა [17].

აღსორბციის ფუნდამენტურ განტოლებად ითვლება ლენგმიურის განტოლება:

$$\frac{B}{1-B} = Kp. \quad (2.3)$$

$B$  ( $a/a_m$ ) – არის აღსორბციის ფარდობითი სიდიდე;  $a_m$  – სიდიდე, რომელიც მიუთითებს მონოფენის სრულ შევსებას;  $K$  – კონსტანტა, რომელიც დამოკიდებულია სორბენტის სტრუქტურაზე და სორბატის ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებზე.

ეს განტოლება დაფუძნებულია შემდეგ დაშვებებზე:

1. ზედაპირზე შთაინთქმება აღსორბირებული მოლეკულების ერთი ფენა, რომელსაც შეესაბამება  $a_m$ .

2. თითოეულ აქტიურ ცენტრზე შეიძლება აღსორბირდეს მხოლოდ ერთი მოლეკულა [18].

აღსორბციის დროს მყარი სხეულის ზედაპირზე შეიძლება წარმოიქმნას მოლეკულების რამდენიმე ფენა, ე.ი. აღსორბცია შეიძლება იყოს პოლიმოლეკულური ხასიათის. ამ შემთხვევაში აღსორბციული წონასწორობის დახასიათებისათვის გამოიყენება ბრაუნერის და ტეილორის განტოლება:

$$\frac{x}{a(1-x)} = \frac{1}{a_m C} + \frac{C-1}{a_m C} x, \quad (2.4)$$

სადაც  $x = (p/p_s)$  ფარდობითი წნევაა.

ამ განტოლების მიხედვით დასაშვებია პირველ აღსორბციულ ფენაში მომდევნო ფენების წარმოქმნა, რომელთა აღსორბციის სითბოტოლია ნორმალური ფაზის კონდენსაციის სითბოსი [19].

თვისობრივად აღსორბციული წონასწორობისადმი ახალი მიდგომა მოგვცა პოლიანიმ, რომლის თეორიის მიხედვით აღსორბციის ზედაპირზე არის ეკვივალენტური ფენა, რომელშიც ხორციელდება აღსორბირებული ნივთიერებების კონცენტრირება. პოლიანის თეორია შემდგომში განავითარა დუბინინმა, რომლის მიხედვით აღსორბენტის მიკროფორებში შეიმჩნევა პოტენციური ველების მდებარეობა, რომელიც

განპირობებულია ვან-დერ-ვაალსური ძალებით. ეს ეფექტი მნიშვნელოვნად ზრდის ადსორბენტის აქტივობას.

მიკროფორებში ადსორბციის თეორიის განვითარების განტოლება გამოსახება ფორმულით:

$$a = a_0 \exp[-KA^2], \quad (2.5)$$

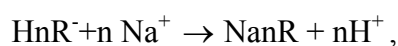
სადაც  $a$  და  $a_0$  ადსორბციის სიდიდეებია, რომელთაც შეესაბამება წნევები  $P$  და  $P_s$ ;  $K$  – მუდმივა, რომელიც დამოკიდებულია ადსორბენტის ფორიანი სტრუქტურის თავისებურებებსა და მის ფიზიკურ თვისებებზე.

### 2.1.1. იონგაცვლითი ადსორბცია

ადსორბციის მნიშვნელოვანი სახეობაა იონგაცვლითი ადსორბცია, რომლის დროსაც ადსორბენტი ადსორბირებული იონების ნაცვლად ხსნარში გზავნის თანამოსახელე (იგივე მუხტის მქონე) იონებს. იონგაცვლითი ადსორბენტების სახით გამოიყენება მინერალური წარმოშობის, როგორც მყარი არაორგანული ნივთიერებები, ასევე ორგანული მაღალმოლეკულური ნივთიერებები ანუ იონიტები. იონიტები, რომლებიც მიმოიცვლებიან კათიონებთან, იწოდებიან კათიონიტებად, ხოლო რომლებიც მიმოიცვლებიან ანიონებთან – ანიონიტებად.

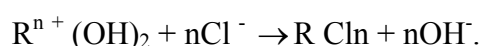
კათიონიტები თავიანთ მოლეკულებში ჩვეულებრივად შეიცავენ სულფოჯგუფებს –  $\text{SO}_3\text{H}$ , ფოსფოჯგუფებს –  $\text{PO}(\text{OH})_2$ , ან კარბოქსილის ჯგუფებს –  $\text{COOH}$ .

კათიონური მიმოცვლის მექანიზმი ხსნარში  $\text{Na}^+$ -ის იონებსა და კათიონიტს შორის, რომელიც შეიცავს  $\text{H}^+$ -ის იონებს, შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგნაირად:



სადაც  $R$  არის მაღალმოლეკულური ორგანული რადიკალი;  $n$  - რადიკალის მუხტი.

ანიონური მიმოცვლის რეაქცია ქლორიდიონსა და ანიონიტს შორის მიმდინარეობს შემდეგი რეაქციით:



ფისის იონები, რომლებიც მიმოიცვლებიან ადსორბირებულ იონებთან, იწოდებიან მოძრავ იონებად. ამ განტოლებების მიხედვით მოძრავი იონებია  $H^+$  და  $OH^-$  იონები. სორბენტსა და ხსნარს შორის იონების მიმოცვლა ეკვივალენტური თანაფარდობით ხდება. იონური მიმოცვლის რეაქცია შექცევადია და ექვემდებარება მოქმედ მასათა კანონს. იონური მიმოცვლის რეაქციის წონასწორული მდგომარეობის დამყარება დამოკიდებულია სორბენტის მარცვლების სიდიდეზე და მათი ფორების ზომაზე. არანაკლები მნიშვნელობა აქვს სორბენტის იონიზაციის ხარისხს. რაც უფრო მაღალია იგი, მით უფრო სწრაფად ხდება მიმოცვლა. იონიტის ადსორბციული უნარი ფასდება მიმოცვლითი ტევადობით, ე.ი. იონის გ/ეკვივალენტების რიცხვით, რომელიც შთაინთქმება ერთი გ/იონიტით.

იონგაცვლითი ფისების დახმარებით შეიძლება ბუნებრივი წყლის გათავისუფლება მასში გახსნილი მარილების იონებისგან. ყველაზე მნიშვნელოვანია წყლის გათავისუფლება კალციუმის, მაგნიუმის და რკინის იონებისაგან, რომლებიც იწვევენ წყლის სიხისტეს.

წყლის მარილებისაგან გათავისუფლება ემყარება მასში არსებული კათიონებისა და ანიონების თანამიმდევრულ მოცილებას. მარილებისაგან გაწმენდილი წყალი პირველად გაივლის  $H^+$  – კათიონიტის ფენაში. ამ დროს კათიონები, რომლებიც იწვევენ სიხისტეს, შთაინთქმებიან და გამოაძევენ ფისიდან  $H^+$ -ის იონებს, ამის შემდეგ გაივლის ანიონიტის  $OH^-$ -ის ფენაში. მიღებული მუავა ხსნარი ნეიტრალდება:



$R^{n+}$  - ნაშთი აკავშირებს მუავას ანიონებს ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ) ამგვარად, წყალი თავისუფლდება მასში გახსნილი კათიონებისა და ანიონებისაგან.

ადსორბციული ხერხი გაწმენდის უნივერსალური ხერხია და საშუალებას იძლევა მრავალკომპონენტიანი ჩამდინარი წყლიდან გამოყოფილ იქნეს პრაქტიკულად ყველა სახის დაბინძურებები. გარდა ამისა, გაწმენდის ადსორბციული ხერხი ეფექტურია სორბატის ნებისმიერი კონცენტრაციის დროს, მათ შორის, მცირე კონცენტრაციისათვის, რომლის დროსაც გაწმენდის სხვა ხერხები არაეფექტურია.

არჩევენ სამი ტიპის ადსორბციას:

1) ადსორბციას – რომელიც სორბატის შთანთქმის პროცესია მყარი ან თხევადი სორბენტის ზედაპირის მიერ. აპარატებს, რომლებშიც ხორციელდება ეს პროცესი, ადსორბერები ეწოდება.

2) აბსორბციას – შთანთქმის პროცესს, რომელსაც თან ახლავს შთანთქმული ნივთიერების დიფუზია სორბენტის სიღრმეში ხსნარების წარმოქმნით, ხშირ შემთხვევაში მშთანთქმელის როლს ასრულებს სითხე. აპარატებს, რომლებშიც ხორციელდება ეს პროცესი, აბსორბერები ეწოდება.

3) ქემოსორბციას – ადსორბციას, რომელიც გართულებულია შთანთქმული ნივთიერებების სორბენტთან ქიმიური ურთიერთქმედებით. პროცესი ხორციელდება ფორებიანი ნაცმებით შევსებულ კოშკებში. ამ ნაგებობებში გასაწმენდი ჩამდინარი სითხე ნელა იფილტრება ნაცმების ფენაში.

ადსორბციული გაწმენდა შეიძლება გამოვიყენოთ დამოუკიდებლად, ბიოლოგიურ გაწმენდასთან ერთად და, აგრეთვე ჩამდინარი წყლების გაწმენდისათვის.

ადსორბციული ხერხები ძალიან ეფექტურია იმ შემთხვევაში, როდესაც ჩამდინარი სითხიდან გამოიყოფა გახსნილი სასარგებლო ნივთიერებები, რომლებიც ექვემდებარებიან უტილიზაციას, ხოლო გაწმენდილი წყლები შესაძლოა ხელმეორედ გამოვიყენოთ წარმოებაში.

გახსნილი ნივთიერების ადსორბცია წარმოადგენს ხსნარიდან გახსნილი ნივთიერების მოლეკულების სორბენტის მყარ ზედაპირზე გადასვლის შედეგს ზედაპირის ძალების ველის ზეგავლენით. ამასთან, ხდება მოლეკულათა შორისი ურთიერთქმედების ორი ნაირსახეობა: გახსნილ ნივთიერებათა მოლეკულების სორბენტის ზედაპირის მოლეკულებთან (ან ატომებთან) და გახსნილ ნივთიერებათა მოლეკულების ხსნარის წყლის მოლეკულებთან (ჰიდრატაცია). ამ ორი მოლეკულათა შორისი ურთიერთქმედების ძალების სხვაობა არის სწორედ ის ძალა, რომლითაც სორბატი მაგრდება სორბენტის ზედაპირზე. რაც უფრო მეტია გახსნილ ნივთიერებათა ჰიდრატაციის ენერგია, მით ნაკლებად გამოიყოფა სორბატი ჩამდინარი წყლიდან.

ადსორბციული გაწმენდა იძლევა კარგ შედეგებს კოლოიდური და მოლეკულური ნაწილაკების ადსორბციის დროს და გაცილებით უარეს შედეგებს, თუ მოლეკულები განიცდიან იონებად დისოციაციას.

უნდა აღინიშნოს აგრეთვე, რომ სუსტი მჟავების ადსორბცია უფრო ეფექტურია წყლის pH-ის დაბალი მნიშვნელობის დროს, ხოლო სუსტი ფუძეებისა – წყლის pH-ის მაღალი მნიშვნელობის დროს.

ყოველივე ნათქვამიდან ცხადია, რომ სორბციული გაწმენდა რაციონალურია, თუ ჩამდინარი სითხე შეიცავს ძირითად არომატულ შენაერთებს ან ჰიდროფობურ ალიფატურ შენაერთებს (ქლორს ან ნიტროჯგუფებს). თუ ჩამდინარი წყალი შეიცავს მხოლოდ არაორგანულ ნივთიერებებს და, აგრეთვე, ერთატომიან სპირტებს, გაწმენდის ამ ხერხს არ იყენებენ.

ადსორბციის პროცესი დაკავშირებულია თავისუფალი ენერჯის შემცირებასთან, რომელიც გამოიყოფა სითბოს სახით, ე.ი. ადსორბციის პროცესის წარმატებით განხორციელება შეიძლება გამოყოფილი სითბოს გაყვანით. ეს მოვლენა მიმდინარეობს გასაწმენდი წყლის შედარებით დაბალი ტემპერატურების დროს. სითხის მაღალი ტემპერატურების დროს პირიქით, შეიძლება მიმდინარეობდეს გამოყოფილი ნივთიერებების დესორბცია. ამიტომ თბური დესორბცია მაღალტემპერატურიანი ორთქლით წარმოადგენს ნამუშევარი აქტიური ნახშირის ადსორბციული აქტიურობის აღდგენის ერთ-ერთ ყველაზე გავრცელებულ ხერხს.

სორბენტებად იყენებენ სხვადასხვა ხელოვნურ და ბუნებრივ ფოროვან მასალებს: გააქტიურებულ ნახშირს, ნაცარს, კოქსის წვრილმანს, სილიკაგელს, ალუმოგელს, აქტიურ თიხებსა და მიწებს.

სორბენტების როლი შეიძლება შეასრულოს ლითონების ჰიდროქსიდების ფიფქებმა (კოაგულანტმა), აეროტექნიკის აქტიურმა ლამმა, ბიოფილტრების ბიოაპკმა, პლანქტონმა და წყალსატევების ფსკერულმა ნატანმა.

ამ ნივთიერებათა ადსორბციული უნარი სხვადასხვანაირია, სორბენტის აქტიურობა კონტაქტის ფართობის პროპორციულია, რომელიც, თავის მხრივ, დამოკიდებულია ფორების ზომაზე, მათ სტრუქტურაზე, დიდი მნიშვნელობა აქვს სორბენტის ქიმიურ შედგენილობას.

ფორიანობა სორბენტის ყველაზე დამახასიათებელი საერთო მაჩვენებელია და განისაზღვრება %-ით შემდეგი ფორმულით:

$$P = \frac{d - \delta}{d} \cdot 100\%, \quad (2.6)$$

სადაც  $d$  და  $\delta$  არის, შესაბამისად, სორბენტის ჭეშმარიტი (ფორების გათვალისწინებით) სიმკვრივე.

გააქტიურებული ნახშირის ფორიანობაა 60-75%, ტუფების – 30-55%, დიატომიტების – 75%.

ფორიანი ზედაპირის სტრუქტურის მიხედვით განიხილება წვრილ-ფორიანი, მსხვილფორიანი და შერეული სორბენტები. მიუხედავად იმისა, რომ წვრილფორიანი სორბენტების აღსორბციული პოტენციალი უფრო მაღალია, ასეთი სორბენტები ყოველთვის არ არის ხელმისაწვდომი ჩამდინარი წყლების დაბინძურებათა შთანთქმისთვის. გააქტიურებული ნახშირები ხელმისაწვდომია მოლეკულურად გახსნილ ნივთიერებათა შთანთქმისთვის. ბუნებრივ სორბენტებს – ტუფებს, დიატომიტს და სხვ. – აქვს მოლეკულათა ჯგუფების შთანთქმის უნარი.

აღსორბციის პროცესის ძირითადი ტექნოლოგიური მაჩვენებელია სორბენტის აქტიურობა, რომელსაც ახასიათებენ  $1\text{მ}^3$  ან  $1\text{კგ}$  სორბენტის მიერ შთანთქმული ნივთიერების რაოდენობით ( $\text{კგ}/\text{მ}^3$ ,  $\text{კგ}/\text{კგ}$ ). ეს სიდიდე განაპირობებს სორბენტის საერთო ხარჯს, ე.ი. ერთ-ერთ ძირითად დანახარჯს ჩამდინარი წყლების გაწმენდაზე. აღსორბციული აქტიურობის შეფარდება პროცესისათვის საჭირო დროსთან საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ კოშკების აღსორბციული მოცულობა.

განასხვავებენ აღსორბციას სტატიკურ და დინამიკურ პირობებში.

თუ აღსორბცია მიმდინარეობს სტატიკურ პირობებში, მაშინ წყლის ნაწილაკი არ გადაადგილდება აღსორბენტის ნაწილაკის მიმართ ან გადაადგილდება მასთან ერთად (სარეგებიანი აპარატები). ამ შემთხვევაში სორბენტი ნაფხვენის ან ფხვნილის სახით შეჰყავთ გასაწმენდ ჩამდინარ წყალში. სორბენტისა და ჩამდინარი წყლის გარკვეული დროის განმავლობაში კონტაქტის შემდეგ აწარმოებენ ნარევის დალექვას. დინამიკური პირობების შემთხვევაში წყლის ნაწილაკი გადაადგილდება აღსორბენტის ნაწილაკის მიმართ (ფილტრები, ფსევდოგათხევადებულფენიანი აპარატები).

ამასთან დაკავშირებით განასხვავებენ სორბენტის სტატიკურ და დინამიკურ აქტიურობას.

სორბენტის სტატიკური აქტიურობა ეწოდება ნივთიერებების მაქსიმალურ რაოდენობას, რომელიც შთანთქმულ იქნა სორბენტის მოცულობის ან მასის ერთეულის მიერ წონასწორობის მიღწევის მომენტი-სათვის წყლის მუდმივი ტემპერატურისა და გახსნილ ნივთიერებათა საწყისი კონცენტრაციის დროს (კგ/მ<sup>3</sup>, კგ/კგ).

დინამიკური აქტიურობა ეწოდება ნივთიერების იმ მაქსიმალურ რაოდენობას, რომელიც შთანთქმულ იქნა სორბენტის მოცულობის ან მასის ერთეულის მიერ იმ მომენტამდე, ვიდრე სორბირებული ნივთიერება აღმოჩნდება ფილტრატში, როდესაც ჩამდინარი წყალი იფილტრება სორბენტის ფენაში (კგ/მ<sup>3</sup>, კგ/კგ). დინამიკური აქტიურობა საწარმოო აღსორბერებში შეადგენს სტატიკური აქტიურობის 45-90%.

სორბენტის მიერ აბსორბირებული ნივთიერების რაოდენობასა და ხსნარში დარჩენილ სორბატის რაოდენობას შორის მყარდება წონასწორობა, რომელიც ემორჩილება განაწილების წესებს.

აღსორბცია შექცევადი პროცესია, ე.ი. აღსორბირებული ნივთიერება (სორბატი) შეიძლება გადავიდეს სორბენტიდან ისევ ხსნარში. სხვა თანაბარი პირობების შემთხვევაში აღსორბციისა და დესორბციის სიჩქარეები პროპორციულია ნივთიერებების კონცენტრაციისა ხსნარში და სორბენტის ზედაპირზე.

იმ მომენტიდან, როდესაც ხსნარიდან სორბირებულ ნივთიერებათა მოლეკულების რაოდენობა (დროის ერთეულში) უტოლდება მოლეკულების იმ რაოდენობას, რომელიც სორბენტის ზედაპირიდან გადადის ხსნარში, ხსნარის კონცენტრაცია რჩება მუდმივი. ამ კონცენტრაციას წონასწორული ეწოდება.

სორბენტის აღსორბციული თვისებების შეფასების კრიტერიუმი არის აღსორბციის იზოთერმა, რომელიც ანალიზურად გამოისახება ფრეინდლის-ლანგმიურის განტოლებით. უკანასკნელი ემპირიული კოეფიციენტების გარდაქმნის შემდეგ და იმ დაშვებების გათვალისწინებით, რომელიც განპირობებულია ჩამდინარი წყლების სუსტი კონცენტრაციით, იღებს სახეს.

$$a = K_{ადს} \cdot C_{წონასწ}, \quad (2.7)$$

სადაც  $a$  არის ხვედრითი ადსორბცია, კგ/კგ;  $K_{ადს}$  – სორბატსა და ხსნარს შორის სორბატის განაწილების ადსორბციული მუდმივა, რომლის სიდიდე სხვა თანაბარი პირობების შემთხვევაში დამოკიდებულია ტემპერატურაზე;  $C_{წონასწ}$  – სორბენტზე ადსორბირებული ნივთიერების წონასწორული კონცენტრაცია, კგ/კგ.

## 2.2. ადსორბციული გაწმენდის ძირითადი სქემები

ჩამდინარი წყლების ადსორბციული გაწმენდის ძირითადი სქემები მოყვანილია ცხრილში 2.1.


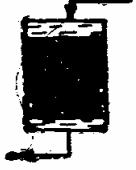
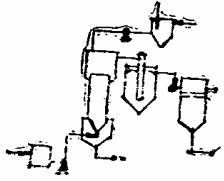
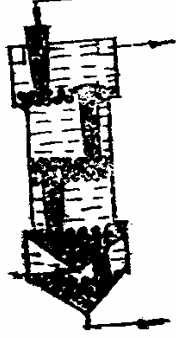



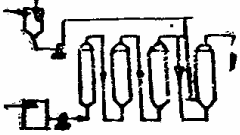
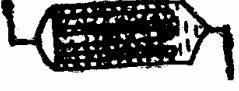
ადსორბცია გრანულირებული გააქტიურებული ნახშირით ხორციელდება ნაყარ ფილტრებში ან აპარატებში ნახშირის ფსევდოგათხვეადებით.

უფრო მარტივია ნაყარი ფილტრი (სქემა 1) – სორბენტის უძრავფენიანი სვეტია, რომელშიც იფილტრება დასამუშავებელი ჩამდინარი წყალი. ფილტრაციის სიჩქარე დამოკიდებულია ჩამდინარ წყალში გახსნილ ნივთიერებათა კონცენტრაციაზე და მერყეობს 1-დან 6 მ/სთ-მდე, სორბენტის მარცვლების სიმსხოა 1,5-დან 5 მმ. რაციონალურია ფილტრაცია ქვევიდან ზევით, ვინაიდან ამ შემთხვევაში უფრო თანაბრად ხდება სვეტის მთელი კვეთის შევსება და შედარებით ადვილად – აირებისა და ჰაერის ბუშტულების გამოდევნა, რომელიც სორბენტში ხდება ჩამდინარ წყალთან ერთად, მაგრამ შესაძლებელია აგრეთვე ფილტრაცია ზემოდან ქვემოთ.

სორბენტის უძრავფენიანი ფილტრების გამოყენება მიზანშეწონილია საამქროების ჩამდინარი წყლების რეგენერაციული გაწმენდის დროს შედარებით სუფთა ნივთიერებების უტილიზაციის მიზნით. დესორბციას აწარმოებენ ქიმიური გამსხნელით ან ორთქლით.

აღსორბციული გაწმენდის ძირითადი სქემები

ცხრილი 2.1

სორბენტის მარცვლების დიამეტრი, მმ	აღსორბციული გაწმენდის სქემა	ღსორბციული ტიპი		სორბენტის რეგენერაციის ტიპი	წყლის გაწმენდის ხერხი	უპირატესი გამოყენების არე
3-5		ნაყარი ფილტრი		ქიმიური რეაგენტით, ორთქლით	წყლის რეგენერაციული გაწმენდა	ჩამდინარი წყლების ბიოლოგიური გაწმენდის წინ
		აღსორბციული სორბენტის ფსევდოუჯახელებით				წარმოების საერთო ჩამდინარი წყლიდან შეწონილ ნივთიერებათა გამოყოფა
0,51					თერმული	
0,1 და ნაკლები		სარეზინი აპარატი		თერმული რეგენერაციის გარეშე	წყლის დესტრუქციული გაწმენდა	ჩამდინარი წყლის დრმა გაწმენდა, წყალსადენის დასაბრუნებელ სისტემაში გამოყენების შესაძლებლობა
		მინალექი ფილტრი				ფილტრი

ნაყარი ფილტრების გაანგარიშების დროს სორბციული ფილტრის მუშაობის მათემატიკური აღწერისათვის სარგებლობენ შილოვის გამოსახულებით, ე.წ. ფილტრის დაცვითი მოქმედების  $T$  დროით, რომელიც წარმოადგენს დროის ხანგრძლივობას ფილტრის მუშაობის დაწყებიდან იმ მომენტამდე, ვიდრე სორბატი აღმოჩნდება ფილტრატში

$$T = KH - \tau \quad (2.8)$$

სადაც  $H$  არის სორბენტის ფენის სიმაღლე, მ;  $K$  – საფილტრაციო (დაცვითი) მოქმედების კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება ცდებით და დამოკიდებულია მთელ რიგ ფაქტორებზე, მათ შორის ხსნარში სორბატის საწყის კონცენტრაციასა და ფილტრაციის სიჩქარეზე;  $\tau$  – (მუდმივა) – საფილტრაციო ქმედების დროის დანაკარგი. დაცვითი მოქმედების კოეფიციენტი.

$$K = a_{\text{წონასწ}} / (V \cdot C_{\text{საწყ}}), \quad (2.9)$$

სადაც  $a_{\text{წონასწ}}$  არის სორბენტის ზღვრული გაჯერება, რომელიც წონასწორულია კონცენტრაციისა კგ/კგ. იგი აღსორბციის იზოთერმის მიხედვით ექსპერიმენტულად უნდა დადგინდეს;  $V$  – ფილტრაციის სიჩქარე, მ/სთ;  $C_{\text{საწყ}}$  – ნივთიერების საწყისი კონცენტრაცია ჩამდინარ წყალში, კგ/მ<sup>3</sup>.

საფილტრაციო ქმედების დროს დანაკარგი

$$\tau = \varepsilon \Delta \tau \quad (2.10)$$

სადაც  $\varepsilon$  არის სორბენტის ფორიანობა (ერთეულის ნაწილები);  $\Delta \tau$  – დრო, რომლის განმავლობაში ნივთიერების კონცენტრაცია ფილტრატში იცვლება სორბატის დასაშვები გასხლტომის,  $C_{\text{დასაშვებ}}$  გასხლ. კონცენტრაციიდან  $C_{\text{საწყ}}$ ის მნიშვნელობამდე.

ნაყარი ფილტრის მიერ დაკავებული ნივთიერების  $V$  რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულით

$$V = (H - h) \cdot F \cdot a_{\text{ღ}}, \quad (2.11)$$

სადაც  $h$  არის ემპირიული კონსტანტა, მ;  $F$  – ფილტრის ფართობი, მ<sup>2</sup>;  $a_{\text{ღ}}$  – სორბენტის დინამიკური აქტიურობა, კგ/მ<sup>3</sup>.

**აღსორბცია ფხვნილისებური გააქტიურებული ნახშირით.** სორბენტის მარცვლების ზომების შემცირება დიდ გავლენას ახდენს აღსორბციის სიჩქარეზე (სიჩქარე საგრძნობლად იზრდება). პროცესი ხორ-

ციელდება რამდენიმე საფეხურად. ყოველ საფეხურში მიმდინარეობს გააქტიურებული ნახშირის, ჩამდინარი წყლისა და რეაგენტის (პოლიელექტროლიტის) შერევა, ფიფქების წარმოქმნა და დალექვა. ჩამდინარი წყალი ბოლო საფეხურიდან მიეწოდება ქვიშოვან ფილტრს გააქტიურებული ნახშირის გამოსაყოფად, რადგანაც ამ უკანასკნელის გამოყოფა ჩამდინარი წყლიდან დალექვის შემდეგ შეუძლებელია.

შემრეგებით აღჭურვილი ადსორბციული აპარატების გაანგარიშებას საფუძვლად უდევს საბალანსო განტოლება.

$$m \cdot a + Q \cdot C_{\text{წონასწ}} = Q \cdot C_{\text{საწყ}} \quad (2.12)$$

სადაც  $m$  არის სორბენტის რაოდენობა კგ;  $Q$  – ჩამდინარი წყლის რაოდენობა, მ<sup>3</sup>;  $C_{\text{საწყ}}$  – ჩამდინარ წყალში დაბინძურებათა საწყისი კონცენტრაცია, კგ/მ<sup>3</sup>;  $a$  და  $C_{\text{წონასწ}}$  – დაბინძურებათა წონასწორული კონცენტრაცია, შესაბამისად, სორბენტსა კგ/კგ და წყალში კგ/მ<sup>3</sup>.

საჭირო სორბენტის  $m$  კგ რაოდენობა ერთსაფეხურიანი გაწმენდის შემთხვევაში (2.12) განტოლების გათვალისწინებით განისაზღვრება ფორმულით

$$m = \frac{Q (C_{\text{საწყ}} - C_{\text{წონასწ}})}{K_{\text{ადს}} \cdot C_{\text{წონასწ}}}, \quad (2.13)$$

დასამუშავებელ წყალში სორბიტის ნარჩენი კონცენტრაცია ერთსაფეხურიანი გაწმენდის შემთხვევაში

$$C_{\text{ნარჩ}} + \frac{Q \cdot C_{\text{საწყ}}}{Q + K_{\text{ადს}} \cdot m}. \quad (2.14)$$

ადსორბციული დანადგარების გაანგარიშებისათვის საჭიროა გვეჩვენოს ადსორბციის იზოთერმა, უნდა ვიცოდეთ ადსორბციის კონსტანტის სიდიდე და გაწმენდის საჭირო ხარისხი, ანუ სორბატის ნარჩენი კონცენტრაციის სიდიდე დამუშავებულ წყალში.

თუ ჩამდინარი წყალი იწმინდება თანამიმდევრულად შეერთებულ  $n$  საფეხურში და ყოველ საფეხურში ვაწვდით ახალ სორბენტს, დასამუშავებელ წყალში დაბინძურებათა ნარჩენი კონცენტრაცია  $I$  საფეხურის შემდეგ იქნება

$$C_{\text{ნარჩ}} + \frac{Q}{Q + K_{\text{ადს}} \cdot m_1} \cdot C_{\text{საწყ}}. \quad (2.15)$$

## II საფეხურის შემდეგ

$$C_{2\text{ნაწი}} + \frac{Q}{Q + K_{\text{აღს}} \cdot m_2} \cdot C_{2\text{ნაწი}} = \left( \frac{Q}{Q + K_{\text{აღს}} \cdot m_2} \right) \cdot C_{\text{საწყ}}, \quad (2.16)$$

სადაც  $C_{2\text{ნაწი}}$  არის სორბატის კონცენტრაცია II საფეხურის შემდეგ, კგ/მ<sup>3</sup>;  $m_2$  – სორბენტის რაოდენობა, რომელიც მიეწოდება ყოველ საფეხურში, კგ.  $n$  საფეხურის შემთხვევაში

$$C_{n\text{ნაწი}} = \left( \frac{Q}{Q + K_{\text{აღს}} \cdot m_n} \right)^n \cdot C_{\text{საწყ}}. \quad (2.17)$$

სორბენტის დოზა  $m_n$ , რომელიც მიეწოდება ყოველ საფეხურში, განისაზღვრება განტოლებით

$$m_n = \sqrt[n]{\left( \frac{C_{\text{საწყ}}}{C_{n\text{ნაწი}}} - 1 \right) \cdot Q / K_{\text{აღს}}}. \quad (2.18)$$

საჭირო  $m$  კგ სორბენტის რაოდენობა

$$m = n \cdot m_n. \quad (2.19)$$

ჩამდინარი წყლისა და სორბენტის ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებით მოძრაობის შემთხვევაში, როდესაც გაწმენდა  $n$  საფეხურში მიმდინარეობს, გაწმენდის შემდეგ დასამუშავებელ წყალში სორბატის ნარჩენი კონცენტრაცია

$$C_{n\text{ნაწი}} = \frac{K_{\text{აღს}} \cdot m / Q - 1}{(K_{\text{აღს}} \cdot m / Q)^{n+1} - 1} \cdot C_{\text{საწყ}}. \quad (2.20)$$

სორბენტის ხარჯი, რომელიც ამ შემთხვევაში მიეწოდება მხოლოდ ბოლო საფეხურში, განისაზღვრება შემდეგი განტოლებიდან

$$\alpha m^{n+1} - \beta m - \gamma = 0, \quad (2.21)$$

სადაც

$$\alpha = (K_{\text{აღს}} / Q)^{n+1} \quad (2.22)$$

$$\beta = (K_{\text{აღს}} \cdot C_{\text{საწყ}}) / (Q \cdot C_{n\text{ნაწი}}), \quad (2.23)$$

$$\gamma = C_{\text{საწყ}} / C_{n\text{ნაწი}} - 1. \quad (2.24)$$

ადსორბციული დანადგარები, რომლებშიც ხდება დასამუშავებელი წყლისა და სორბენტის ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებით მოძრაობა, უფრო ფართოდ გამოიყენება სორბენტის ეკონომიკური ხარჯის გამო.

გააქტიურებული ნახშირის ადსორბციული თვისებების აღდგენისათვის ნამუშევარი სორბენტის რეგენერაციას აწარმოებენ ქიმიური გამსხნელებით, ორთქლით ან თერმული დამუშავების შედეგად.

გააქტიურებული ნახშირით ადსორბციული გაწმენდის შემთხვევაში ჩამდინარი წყლის 1 მ<sup>3</sup> ღირებულებაა 50-70 თეთრი, რომლის 30-35% შეადგენს დანახარჯებს გააქტიურებულ ნახშირზე.

ზემოთ განხილული ადსორბციის ფიზიკურ-ქიმიური პროცესის ანალიზის საფუძველზე მივედით იმ დასკვნამდე, რომ ნავთობ- და ცხიმშემცველი პროდუქტებით დაბინძურებული ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ადსორბციის მეთოდი.

### 2.3. ცეოლიტები

ცეოლიტი წარმოადგენს ვულკანური დანალექი წარმოშობის ცეოლითშემცველ ტუფს, რომელიც გამოირჩევა მაღალი ფოროვანი სტრუქტურით და აქვს უნიკალური თვისებები – მაღალი შთანთქმითი და იონგაცვლითი უნარი, შეუძლია სელექციურად გამოყოს და შეიწოვოს სხვადასხვა ნივთიერება.

ცეოლითური მინერალების პირველი წარმომადგენელია სტიბილიტი, იგი აღმოჩენილ იქნა ჯერ კიდევ ორიათასი წლის წინ. დღეისათვის აღმოჩენილია ოთხ ათეულზე მეტი ცეოლითური მინერალი. ჯერ კიდევ 20-30-იან წლებში დადგენილ იქნა, რომ ცეოლიტების მიერ სხვადასხვა ნივთიერებების მოლეკულების შთანთქმა დამოკიდებულია მათ ზომებზე, რაც დასტურია ცეოლიტების კრისტალური ჩონჩხის მიკროფოროვანი სტრუქტურისა, რაც დამტკიცებულ იქნა რენტგენოსკოპული გამოკვლევებით. ნივთიერებათა ნარეგების დაყოფის უნარის გამო ცეოლიტებს მოლეკულური საცრები ეწოდა.

50-იან წლებამდე კვლევები ცეოლიტების შესახებ ტარდებოდა ბუნებრივ მინერალებზე, რომლებიც ძალიან გაბნეულია და გვხვდება მცირე რაოდენობით, ამ მინერალების ფასეულმა თვისებებმა განაპირობა სინთეზური ცეოლიტების მიღების მეთოდების შემუშავების აუცილებლობა. დღეისათვის ცნობილია 100-ზე მეტი სინთეზური ცეოლიტი, რომელთა უმრავლესობას არა აქვს ანალოგი ბუნებაში, უნი-

კალური ადსორბციული, მოლეკულურ-საცრული, კატალიზური, იონ-გაცვლითი და სხვა თვისებების გამო. სინთეზური ცეოლითები ფართოდ გამოიყენება მრეწველობაში.

1928 წელს გამოჩნდა ცნობები ვულკანოგენურ-დანალექი ცეოლითების ფართოდ გავრცელების შესახებ. დანალექი ცეოლითების ზედაპირული განლაგება, მათი შედარებით ადვილად მოპოვება და დაბალი ღირებულება განაპირობებს მათ ფართო გამოყენებას. 60-70-იან წლებში ინტენსიურად დაიწყო ბუნებრივი ცეოლითების თვისებების შესწავლა და მათი გამოყენების შესაძლებლობები.

დაწყებული 1977 წლიდან შედარებით მოკლე დროში ბუნებრივ ცეოლითებზე ჩატარებულ იქნა ხუთი კონფერენცია და ერთი სიმპოზიუმი ბულგარეთში, აგრეთვე ორი კონფერენცია აშშ-ში. ბულგარეთის რესპუბლიკა არის ერთ-ერთი ქვეყანა, სადაც ბუნებრივი ცეოლითების დიდი საბადოებია [20].

საქართველოში მდებარე თეძამის ცეოლითი ერთ – ერთი საუკეთესოა მსოფლიოში. იგი გამოირჩევა მინერალ კლინოპტილოლიტის მაღალი შემცველობით, რომელიც აღწევს 80 %. თეძამის ცეოლითების გამოყენებას დიდი ისტორია აქვს. მას ფართოდ იყენებდა რუსთავის აზოტის ქარხანა ჩამდინარი წყლების ფენოლებისაგან გასაწმენდად. ცეოლითს მოიხმარდა აგრეთვე სასმელი წყლის მრავალი საფილტრო სადგური. იგი დიდი რაოდენობით იგზავნებოდა იაპონიაში ქადალდის წარმოებისათვის. მისი შემსყიდველი იყო ლიბანი და ეგვიპტე, სადაც მათ გამოიყენებდნენ ნიადაგში ტენის შესანარჩუნებლად, ამ ცეოლითს რადიოაქტიური ელემენტების შთანთქმის მაღალი უნარი აღმოაჩნდა.

თეძამის ცეოლითის ფიზიკო – ტექნიკური მახასიათებლები ასეთია:

კლინოპტილოლიტის პროცენტული შემცველობა – 80 %

ქიმიური შედგენილობა წონით პროცენტებში:

SiO<sub>2</sub>–59.8 –62.6

Al<sub>2</sub>O<sub>2</sub> –12.3 –12.7

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–3.6–2.4

TiO<sub>2</sub>–0.09 –0.31

CaO –5.7–3.2

MgO –1.6–1.2

Na<sub>2</sub>O–2.0–2.3

K<sub>2</sub>O –1.3–1.5

H<sub>2</sub>O –13.0 –13.8

ფარდობა – SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 8.03 – 8.43

კუმშვაზე წინაღობა – 3.3 კგ/სმ

ფორიანობა – 28.4 – 30.2 %

სიმკვრივე – 2.18 –2.22 %

ფორების ზომა – 0.4 ნმ

მიმოცვლითი კატიონები: NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cs<sup>+</sup>, Li<sup>+</sup>, Rb<sup>+</sup>, Ag<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Co<sup>3+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Cz<sup>3+</sup>, As<sup>3+</sup>.

შთანთქმული ნივთიერებები: SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NO, Ar, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>, HCHO, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, Cl<sub>2</sub>.

საქართველოში გავრცელებული გამფილტრავი მასალებიდან მნიშვნელოვანია აგრეთვე პერლიტი, რომელიც ვულკანურ მინას წარმოადგენს. იგი წარმოიქმნება ბუნებრივი გზით. მისი აღწერისათვის სხვადასხვა სახელწოდებები იქნა გამოყენებული, მაგრამ 1822 წლიდან ეწოდა “პერლიტი”, რადგან ვულკანური მინა აფუების შედეგად იღებს თოვლივით თეთრ, ქათქათა ფერს, ხოლო “პერლიტი” ლათინურად მარგალიტს ნიშნავს.

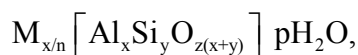
პერლიტის განმასხვავებელი თვისება სხვა ვულკანური მინებისაგან არის ის, რომ გარკვეულ ტემპერატურამდე გაცხელების შედეგად ის ფუვდება და ხდება 4-20-ჯერ დიდი მოცულობისა პირველად მოცულობასთან შედარებით. აფუების პროცესი ხდება პერლიტის ქანში 2–6 % ქიმიურად ბმული წყლის შემცველობის გამო.

870-1150°C-ზე პერლიტის ქანი ფუვდება ბატიბუტის მსგავსად. წყალი ორთქლდება და ქმნის უთვალავ პატარა ბუშტულას დარბილებულ მინისებრ ნაწილაკებში. სწორედ ეს პატარა მინით შეფუთული ბუშტულები განაპირობებენ პერლიტის სიმსუბუქეს და განსაკუთრებულ ფიზიკურ თვისებებს: თოვლივით თეთრი ფერისაა, იმ დროს, როცა პერლიტის ქანი ბუნებრივ პირობებში შეიძლება იყოს გამჭვირვალე ნაცრისფერიდან პრიალა შავ ფერამდე. აფუებული პერლიტის ქვიშა შეიძლება იყოს 32კგ/მ<sup>3</sup> – 240კგ/მ<sup>3</sup> მოცულობითი წონის, რის გამოც იგი იძენს მრავალმხრივ გამოყენებით თვისებებს ისეთ დარგებში, როგორცაა მშენებლობა, სოფლის მეურნეობა, კრიოტექნიკა, მეტალურგია. იგი

აგრეთვე წარმატებით გამოიყენება სხვადასხვა სითხეების: ალკოჰოლური და უალკოჰოლო სამელების, სასმელი და ტექნიკური წყლის, საკვებისა და ტექნიკური ზეთების, ნავთობპროდუქტების, ანტიბიოტიკების და სხვათა საფილტრავად, ფილტროპერლიტის ფხვნილის სახით [20].

### 2.3.1 ცეოლიტების ქიმიური შედგენილობა

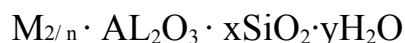
ცეოლიტების შედგენილობის იდეალური ფორმულა შეიძლება გამოისახოს შემდეგი სახით:



სადაც M – ერთვალენტიანი (Li, Na, K) ან ორვალენტიანი (Ca, Mg, Si, Ba) კატიონებია; n – კატიონის მუხტი

$$y/x=1 \div 6; O/x=1 \div 4$$

ცეოლიტების შედგენილობის გამოსახვა მოხერხებულია აგრეთვე ოქსიდების სახით:



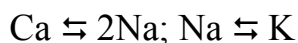
Si/AL-ის თანაფარდობა ბუნებრივ ცეოლიტებში მერყეობს 1-დან 6-მდე.

სინთეზურ ცეოლიტებში სილიციუმი შეიძლება იყოს ჩანაცვლებული გერმანიუმით, ხოლო ალუმინი – გალიუმით, რკინით, ქრომით, ბორით და სხვ.

Si/AL-ის თანაფარდობა შეიძლება შეიცვალოს მნიშვნელოვნად ცეოლიტის სტრუქტურის ტიპის მიხედვით. ცეოლიტებისათვის დამახასიათებელია შემდეგი ჩანაცვლების ტიპები:



არსებობს აგრეთვე ჩანაცვლების მარტივი ტიპები:



ცეოლიტებში წყლის შემცველობაც განსაზღვრულ ზღვრებში იცვლება. ჩვეულებრივ, ცეოლიტების სტრუქტურებში წყლის მოლეკულები ავსებენ მთელ თავისუფალ მოცულობებს და სიცარიელებს.

### 2.3.2 ცეოლითების სტრუქტურა

სმიტის განმარტებით, ცეოლითი წარმოადგენს ალუმოსილიკატს ჩონჩხისებური სტრუქტურით, რომლებიც შეიცავენ სიცარიელებს და ეს სიცარიელები დაკავებულია წყლის მოლეკულებით ან იონებით, რომლებსაც თავისუფალი მოძრაობის უნარი გააჩნით, რითაც განპირობებულია იონური მიმოცვლის და შექცევადი დეჰიდრატაციის უნარი [21].

ცეოლითების სტრუქტურის პირველადი ერთეული ტეტრაედრია, რომლის ცენტრში არის სილიციუმი ან ალუმინი, ხოლო წვეროებში განლაგებულია უანგბადის ოთხი ატომი, რომელთაგან ორი საერთოა ორი ტეტრაედრისათვის. ამგვარად, ტეტრაედრების ერთობლიობა ქმნის ცეოლითის უწყვეტ ჩონჩხს.  $Si^{4+}$ -ის შეცვლა  $Al^{3+}$ -ით განსაზღვრავს ჩონჩხის უარყოფით მუხტს, რომელიც კომპენსირდება ერთ ან ორვალენტურიანი კატიონებით, რომლებიც წყლის მოლეკულებთან ერთად არიან განლაგებული სტრუქტურის არხებში.

#### ცეოლითების შედგენილობა და სტრუქტურა

ცხრილი 2.2

მინერალი, ელემენტარული უჯრედის შედგენილობა	Si/Al თანაფარდობა და მიმოცვლითი კატიონები	სინგონია	ელემენტარული უჯრედების პარამეტრები
კლინოპტილოლიტი ( $K_2Na_2Ca$ ) $Al_6Si_{30}O_{72} \cdot 22H_2O$	4 – 2 – 5.25	მონოკლინური $C_{2/m}$	$a=1.766$ , $b= 1.726$ , $c=0.720$ , $\beta= 1166.4$
მორდენიტი ( $Na_2Ca$ ) $_8Al_8 Si_{10} O_{96} \cdot 28 H_2O$	4.4 – 5 $Na > Ca \gg, K$	რომბული $C_{m2m}$ ტრიგონალური	$a=1.813$ , $b=2.049$ , $c= 0.752$
შაბაზიტი ( $CaNa_2$ ) $_4Al_{12}Si_{24} O_{72} \cdot 40H_2O$	1.6 – 4.0 Sr-6%-მდე	ტრიგონალური	$a = 1.371 \div 1.386$ $c = 1.480 \div 1.516$
ერიონიტი (Ca, Mg, $Na_2$ , $K_2$ ) $_4Al_9 Si_{27} O_{72} \cdot 27 H_2O$	2.0 – 3.5 $Na > K, Mg$	ჰექსაგონალური	$a = 1.326$ $c = 1.512$

ჩონჩხებში განლაგებული კათიონები ადვილად ჩაენაცვლებიან, ამიტომ მათ მიმოცვლითი ეწოდებათ. განსხვავებით Si-ისა და Al-ისგან, რომლებიც არ მიმოიცვლებიან, ამიტომ მათ (Al, Si) ტეტრაედრულ ანუ ჩონჩხის ატომებს უწოდებენ.

ცეოლითების ჩონჩხები შეიცავენ სხვადასხვაგვარ არხებს და სიცარიელებს, მათ, ჩვეულებრივ, პოლიედრის ფორმა აქვთ. დიდი პოლიედრების შიგნით წარმოიქმნება საკმაოდ დიდი სიცარიელები, მაგ., სოდალიტში წარმოიქმნება 0.66 ნმ დიამეტრის მოცულობის თავისუფალი სივრცე. შაბაზიტში შიგა სივრცის მოცულობა 1.1 ნმ-ია. რიგი ცეოლითების სტრუქტურა შეიძლება განხილულ იქნეს როგორც თანმიმდევრული ფენების კონკრეტული კონფიგურაციის სისტემა.

ცეოლითური ჩონჩხი შეიძლება წარმოვიდგინოთ განსაზღვრული კონფიგურაციების პარალელური ჯაჭვების სახით. ძალიან დამახასიათებელია ტეტრაედრების ჯაჭვები ნატროლიტური ჯგუფის ცეოლითებისათვის.

### 2.3.3 ცეოლითების სტრუქტურული კლასიფიკაცია

ცეოლითების პირველი მინერალოგიური კლასიფიკაცია შედგენილ იქნა მათი ფიზიკური და ქიმიური თვისებების საფუძველზე. ამ კლასიფიკაციის მიხედვით ცეოლითების ნაწილი არ შეიძლება მივაკუთვნოთ რომელიმე ჯგუფს, ხოლო რიგ შემთხვევებში არ აღინიშნება პირდაპირი კავშირი ჰაბიტუსსა და სტრუქტურას შორის. მაგ., ერიონიტი გამოირჩევა ბოჭკოვანი ჰაბიტუსით, თუმცა აქვს მკვეთრი სამგანზომილებიანი სტრუქტურა.

ამჟამად დიდი პოპულარობით სარგებლობს მეორად სტრუქტურულ ერთეულების გამოყენებაზე დაფუძნებული კლასიფიკაციები (მსკ) [22].

ბრეკის მონოგრაფიაში [23] ცეოლითების სტრუქტურები კლასიფიცირდებიან 7 ჯგუფად მათში ამა თუ იმ მსკ-ს არსებობის მიხედვით. ამ პრინციპის თანმიმდევრულმა გამოყენებამ მიგვიყვანა ძალიან განსხვავებული სტრუქტურების ერთ ჯგუფში გაერთიანებამდე. მაგ., პირველ ჯგუფში შედიან ანალციმი, ფილისიტი, პოლინგიტი, ლომონტიტი და იუგავალიტი ოთხწევრიანი რგოლების არსებობის საფუძველზე.

ერთ ჯგუფში გაერთიანებულია სტრუქტურები, რომელთა ჩონჩხები შეიცავენ ერთ ან მეტ საერთო სტრუქტურულ ერთეულს, რომლებიც შეწვერიანების სხვადასხვა ხერხებით განაპირობებენ განსხვავებულ ტოპოლოგიას. მაგ., ერთნაირი ტეტრაედრული დაჯგუფებიდან 4 – 4 – 1 მიიღება ნატროლიტური, ტომსონიტური და ედინგონიტური სტრუქტურები. როგორც დამოუკიდებელი მინერალები, გამოიყოფა ნიმუშები, რომლებსაც აქვთ კარკასის ერთნაირი ტოპოლოგია, მაგრამ განსხვავდებიან ქიმიური შედგენილობით (Si/Al) თანაფარდობით, მიმოცვლითი კატიონებით, რომლებიც იწვევს როგორც სტრუქტურულ, ასევე კრისტალოგრაფიულ განსხვავებას, აგრეთვე, ფიზიკურ და ქიმიურ თვისებებში განსხვავებას. ნატროლიტურ ჯგუფში სკოლეციტს და მეზოლიტს აქვს ნატროლიტური ჩონჩხის ტოპოლოგია, ხოლო გონდარიტს – ტომსონიტური ტოპოლოგია.

### 2.3.4. ცეოლითების სპექტრული გამოკვლევები

ცეოლითების სპექტრული გამოკვლევები გვაძლევს საინტერესო ინფორმაციას მათ სტრუქტურულ თავისებურებებზე და აგრეთვე მონაცემებს იმის შესახებ, თუ რა გავლენას ახდენს მათი სხვადასხვა მეთოდით დამუშავება მათ თვისებებზე. [24, 25] ნაშრომებში აღწერილია ტექსტოცეოლითების და მათ შორის ცეოლითების (ნატროლიტი, სკოლეციტი, მეზოლიტი და სხვ.) ინფრაწითელი შთანთქმის სპექტრების კვლევის შედეგები. გამოკვლევები ტარდებოდა 660  $\text{სმ}^{-1}$ –5000  $\text{სმ}^{-1}$  ზღვრებში. ყველაზე უფრო ინტენსიური შთანთქმა აღინიშნებოდა 660  $\text{სმ}^{-1}$ –850  $\text{სმ}^{-1}$  ზღვრებში. მიღებული მონაცემების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ შთანთქმის ინტენსიური ხაზები 980  $\text{სმ}^{-1}$ -დან 1099  $\text{სმ}^{-1}$ -მდე შეესაბამება O–Si (Al)–O ბმების ვალენტურ რხევებს. ბევრ შემთხვევაში შეიმჩნევა მსგავსი სპექტრების არსებობა, განსაკუთრებით, ტექსტოსილიკატების ერთ-ერთი ჯგუფის შემთხვევაში. მოცემულ ნაშრომებში აღნიშნულია, რომ ცალკეული მინერალების სპექტრებს შორის განსხვავება მოსალოდნელი იყო 330  $\text{სმ}^{-1}$ –3660  $\text{სმ}^{-1}$  ზღვრებში, რომელიც შეესაბამება ჩონჩხების დეფორმაციულ რხევებს. ბუნებრივი ცეოლითე-

ბის – ნატროლიტი, ლომონტიტი, შაბაზიტი და სხვ. ინფრაწითელი სპექტრები  $400 \text{ სმ}^{-1}$ - $4000 \text{ სმ}^{-1}$ -მდე აღწერილია შრომაში [26].

მიღებული შედეგების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ შესწავლილ ნიმუშებში წყლის მოლეკულების ვალენტური რხევები სხვადასხვანაირად მჟღავნდება. შაბაზიტის და დესმინის წყლის შთანთქმის სპექტრები ხასიათდება ფართო ურთიერთგადამფარავი ხაზებით, ხოლო ნატროლიტისა და ლომონტიტის შთანთქმის სპექტრები – ვიწრო ხაზებით. ანალციმისათვის დამახასიათებელია ერთი ფართო და ასიმეტრიული ხაზი. წყლის მოლეკულების დეფორმაციული რხევების სპექტრები ყველა ცეოლითისათვის წარმოდგენილია ერთი ხაზით  $1620 \text{ სმ}^{-1}$ -ში და მხოლოდ ტომსონიტის და ლომონტიტის სპექტრებში. აღინიშნება სხვა ხაზები სიხშირეებით  $1675 \text{ სმ}^{-1}$  და  $1410 \text{ სმ}^{-1}$  შესაბამისად. მიღებული შედეგების საფუძველზე გაკეთებულ იქნა დასკვნა, რომ პირველი ჯგუფის მინერალებში წყლის მოლეკულები ცეოლითის ჩონჩხთან დაკავშირებულია ურთიერთქმედების სხვადასხვანაირი ძალებით, ხოლო მეორე ჯგუფის მინერალებისათვის წყლის მოლეკულები იმყოფებიან მკაცრად განსაზღვრულ ძალთა ველში. ასეთი დასკვნა შეესაბამება ცეოლითების თერმულ და სტრუქტურულ მონაცემებს.

კლინოპტილოლიტების და მათი იონმიმოცვლითი ფორმების ინფრაწითელ სპექტრებში რადიუსის, ატომური მასის და კატიონების მუხტის მიხედვით [27] შეიმჩნევა მაღალი სიხშირის ხაზების  $3100 \text{ სმ}^{-1}$ - $3700 \text{ სმ}^{-1}$  ზღვრებში ინტენსიურობის ცვლილება. კატიონები ამ შემთხვევაში უმნიშვნელო გავლენას ახდენს ცეოლითის ჩონჩხის Al, Si-O-ბმების სპექტრების ხასიათზე.

ანალციმის და ნატროლიტის შემთხვევაში შიგა კრისტალური ღრუს ზომის სიმცირის გამო ურთიერთქმედება კატიონებსა და ჩონჩხს შორის ძლიერი ხდება. მისი  $550^{\circ}\text{C}$ -ზე დამუშავების შემდეგ. თერმული დამუშავება იწვევს ამონიუმის იონების დაშლას და ჰიდროქსიდის ჯგუფების გაჩენას. შთანთქმული წყალი ცილდება  $300^{\circ}\text{C}$ -ზე

ძეგვის კლინოპტილოლიტების შესწავლის მონაცემები მოწმობენ, რომ ცეოლითისაგან წყლის ძირითადი რაოდენობა გამოიყოფა ამოტუმბვისას, ოთახის ტემპერატურაზე. პრაქტიკულად წყალი სრულად სცილდება  $350-400^{\circ}\text{C}$ -ზე.

ზოგიერთი ბუნებრივი და სინთეზური ცეოლითის წყლის მოლეკულების ინფრაწითელი სპექტრების დეფორმაციული და ვალენტური რხევების ზღვრების შესწავლამ გვიჩვენა, რომ 40<sup>0</sup>C-ზე მიმდინარეობს წყლის დესორბცია. ამონიუმის ფორმები მთლიანად კარგავენ ამიაკს 300-400<sup>0</sup>C-ზე. ამავე ტემპერატურულ ინტერვალში აღინიშნება OH-ჯგუფებისათვის შთანთქმის მაქსიმუმები 3570 სმ<sup>-1</sup>-3615 სმ<sup>-1</sup> ზღვრებში.

სპექტრული მონაცემების საფუძველზე გამოთვლილ იქნა კლინოპტილოლიტში წყლის მოლეკულების რაოდენობა, რომელიც ექვემდებარება ვაკუუმირებას სხვადასხვა ტემპერატურაზე. 40<sup>0</sup>C-ზე დეჰიდრატაციის დროს კლინოპტილოლიტი კარგავს წყლის 2/3 ნაწილს. ცეოლითების H-ფორმის სპექტრულმა შესწავლამ, რომელიც მიღებულ იქნა მარილმუყავას სხვადასხვა კონცენტრაციების ხსნარებით, გვიჩვენა, რომ ამ ნიმუშებისათვის დამახასიათებელია მხოლოდ ორი ხაზი – 3620 სმ<sup>-1</sup>-3732 სმ<sup>-1</sup>. მუყავას კონცენტრაციის გაზრდისას შეინიშნება OH-ჯგუფების კონცენტრაციის გაზრდა, რომელსაც შეესაბამება 3732 სმ<sup>-1</sup> ხაზი.

H-ერიონიტის აირად ამიაკსა და პროპილენს შორის აღსორბციული ურთიერთქმედების შესწავლისათვის ცეოლითის H-ფორმას იღებდნენ ამონიუმის ფორმის ბუნებრივი ერიონიტისაგან. ამონიუმის ფორმას აცხელებდნენ ჰაერზე 300, 400, 500, 600, 700<sup>0</sup>C-ზე. თითოეული ნიმუშისათვის, რომელსაც 1 სთ-ის განმავლობაში აცხელებდნენ, შესაბამის ტემპერატურაზე იღებდნენ ინფრაწითელ სპექტრს OH-ჯგუფების ვალენტური რხევების ზღვრებში. მიღებულმა შედეგებმა აჩვენა, რომ ნიმუშის გახურებისას 300<sup>0</sup>C-ზე მთლიანად არ სცილდება ამიაკი და წყალი, 400<sup>0</sup>C-ზე ხდება წყლის მთლიანი მოცილება. ამ ტემპერატურაზე ისევ რჩება 3380 სმ<sup>-1</sup> ზოლები და ფართო ზოლი 3200 სმ<sup>-1</sup>, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ იგი მიეკუთვნება ამონიუმის იონებს.

600<sup>0</sup>C-ზე გახურებულ H-ერიონიტის სპექტრში აღინიშნება მხოლოდ სამი ხაზი: 3745, 3612, 3565 სმ<sup>-1</sup> პროპილენის აღსორბციის შედეგად 3612 სმ<sup>-1</sup> ხაზი ქრება და ხდება მცირე გაფართოება და ხაზების გადაწევა 3565 სმ<sup>-1</sup>-3560 სმ<sup>-1</sup>. ამიაკის აღსორბცია H-ერიონიტზე იწვევს OH-ჯგუფის ორი ხაზის გაქრობას. 3750 სმ<sup>-1</sup> ხაზი რჩება უცვლელად და აღინიშნება 3380 სმ<sup>-1</sup>-3200 სმ<sup>-1</sup> ფართო ხაზები, რომლებიც დამახასიათებელია ამონი-

უმის იონისათვის. მიღებული სპექტრული მონაცემების საფუძველზე გამოთქმულ იქნა ვარაუდი OH-ჯგუფების დელოკალიზაციის შესახებ.

პროპილენთან ურთიერთქმედებაში მონაწილე OH-ჯგუფები, რომლებსაც შეესაბამება  $3612 \text{ სმ}^{-1}$  ხაზი, როგორც ჩანს, განლაგებულია დიდ არხებში, ხოლო  $3565 \text{ სმ}^{-1}$  ხაზი წარმოადგენს ექვსწევრიანი რგოლის შიგა OH-ჯგუფებს.

ცეოლიტების მესრის სტრუქტურის დასახასიათებლად შესწავლილ იქნა ზოგიერთი ბუნებრივი ცეოლიტის ინფრაწითელი სპექტრები ალუმოსილიკატ ქანგბადოვანი ჩონჩხის რხევის სიხშირეების ზღვრებში ( $200-1300 \text{ სმ}^{-1}$   $200-1200 \text{ სმ}^{-1}$ ). ამ მონაცემების საფუძველზე მოხდა კლასიფიკაცია ტეტრაედრების გარე ბმების სტრუქტურულ-მგრძობიარე და შიგა ცალკეული ტეტრაედრების სტრუქტურულ-არამგრძობიარე რხევებად.

ამ კლასიფიკაციის მიხედვით ტეტრაედრების შიგა რხევებს მიეკუთვნება სამი ტიპი: ანტისიმეტრიული ვალენტური რხევები  $1250-950 \text{ სმ}^{-1}$ , სიმეტრიული ვალენტური რხევები  $720-650 \text{ სმ}^{-1}$  და დეფორმაციული რხევები  $420-500 \text{ სმ}^{-1}$ . გარე ბმების რხევები მოიცავს: ორმაგ რგოლს ( $650-500 \text{ სმ}^{-1}$ ), ფანჯარას ( $300-420 \text{ სმ}^{-1}$ ), სიმეტრიულ ვალენტურ რხევებს ( $750-820 \text{ სმ}^{-1}$ ) და ანტისიმეტრიულ ვალენტურ რხევებს ( $1050-1150 \text{ სმ}^{-1}$ )

ძეგვის კლინობტილოლიტის სპექტრები ხასიათდება შთანთქმის ხაზებით:  $465$ ,  $530$ ,  $615$ ,  $1065$  და  $1220 \text{ სმ}^{-1}$   $0.25$  მოლური აზოტმჟავას ხსნარით დამუშავებული ნიმუშის სპექტრში  $530$  და  $615 \text{ სმ}^{-1}$  ხაზების ინტენსიურობა მცირდება, მცირდება აგრეთვე  $1065 \text{ სმ}^{-1}$  ხაზების ინტენსიურობაც. ამავე დროს, ხდება მისი გადაწევა მოკლეტალღიან უბანში და ჩნდება  $800 \text{ სმ}^{-1}$  – ხაზი.

ცეოლიტის დამუშავება  $1$  მოლური აზოტმჟავათი იწვევს  $530 \text{ სმ}^{-1}$  ხაზის გაქრობას და  $800 \text{ სმ}^{-1}$ -ხაზის ინტენსიურობის გაზრდას. ხაზის გადანაცვლებას  $1065 \text{ სმ}^{-1}$ -დან  $1095 \text{ სმ}^{-1}$ -მდე და შთანთქმის ხაზების გამოჩენას  $940 \text{ სმ}^{-1}$ -ში. აზოტმჟავას კონცენტრაციის გაზრდასთან ერთად  $5$  მოლურამდე იწვევს  $530 \text{ სმ}^{-1}$  და  $615 \text{ სმ}^{-1}$  ხაზების გაქრობას და შთანთქმის ხაზების ინტენსივობის გაზრდას  $805 \text{ სმ}^{-1}$ - $905 \text{ სმ}^{-1}$ -მდე და ხაზის გადაწევას  $1065 \text{ სმ}^{-1}$ - $1100 \text{ სმ}^{-1}$ -მდე. ანალოგიურ მოვლენასთან გვაქვს საქმე ცეოლიტების მარილმჟავას ხსნარით დამუშავებისას.

სხვა კლინოპტილოლიტების, მორდენიტებისა და მათი ნარეგების ინფრაწითელი სპექტრების შესწავლამ გვიჩვენა, რომ ისინი ხასიათდებიან შთანთქმის შემდეგი ხაზებით: 550–560, 650–720, 750–820, 850–900, 1000–1100 და 1150–1250 სმ<sup>-1</sup>. ეს ხაზები მიეკუთვნება Si-O-(Al) და Al-O-(Si) ბმების რხევებს ტეტრაედრებში, რომლებიც ერთიანდებიან ალუმინსილიკატ-ჟანგბადოვან ჩონჩხებში. Si-O-(Al) ბმის რხევები, რომლებიც გამოწვეულია შინაგანი დეფორმაციული, ასიმეტრიული რხევებით, აღინიშნება 650–720, 780–820 და 900–1250 სმ<sup>-1</sup> ზღვრებში.

ყველაზე ინტენსიური ხაზი აღინიშნება 1040–1100 სმ<sup>-1</sup> ინტერვალში. 750–820 სმ<sup>-1</sup> ხაზები, როგორც ჩანს, განპირობებულია Si-O ბმის სიმეტრიული ვალენტური რხევებით. 550–650 სმ<sup>-1</sup> შთანთქმის ხაზები მიეკუთვნება ალუმინსილიკატ-ჟანგბადოვანი ტეტრაედრების ჯაჭვების რხევებს.

ბუნებრივი და მჟავათი დამუშავებული მორდენიტისათვის ნაჩვენებია, რომ მჟავას კონცენტრაციის ზრდის დროს სპექტრში ცვლილებები ოდნავ შეიმჩნევა, რაც მიუთითებს ამ მინერალის მჟავასადმი მდგრადობაზე. 9.4 მოლური HCl-ის ხანგრძლივი დამუშავებისას 570 და 627 სმ<sup>-1</sup> ზღვრებში ხდება ხაზების ინტენსივობის შესამჩნევი შემცირება, რაც დამახასიათებელია გარე რხევებისათვის. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ ხდება გარკვეულწილად ცეოლითის ამორფიზაცია [28].

შაბაზიტი არის მჟავების მიმართ შედარებით ნაკლებად მდგრადი ცეოლითი. მისი დამუშავებით 0.12 მოლური მდულარე მარილმჟავას ხსნარით სპექტრიდან ქრება 425, 527 და 648 სმ<sup>-1</sup> ხაზები, რომლებიც დამახასიათებელია ტეტრაედროთაშორისი ბმებისათვის. მჟავას კონცენტრაციის გაზრდით შაბაზიტის სპექტრი უახლოვდება სილიკატების სპექტრს.

## 2.4. პერლიტის ნედლეული

პერლიტის მოპოვება წარმოებს ღია კარიერზე, რომელიც მდებარეობს სამხრეთ საქართველოში თბილისიდან 130 კმ-ის მანძილზე, ფარანის ტბის მიმდებარე ტერიტორიაზე, ზღვის დონიდან 2200–2400 მ-ზე. ფირმას აქვს საკუთარი სარკინიგზო მისასვლელი რკინიგზის სადგურ

ფარაენიდან 2კმ-ის მანძილზე. კარიერი გახსნილია რკინიგზის მისასვლელი ლიანდაგიდან 1კმ-ში.

მოპოვებული პერლიტის ტრანსპორტირება სარკინიგზო მისასვლელამდე ხდება ავტოტრანსპორტით ნედლეულის საშუალო საწყობიდან, სარკინიგზო ტრანსპორტით ხდება პერლიტის ტრანსპორტირება თბილისში, პერლიტის გადამამუშავებელ ქარხანამდე. პერლიტის გადამამუშავების ტექნოლოგია ითვალისწინებს დამსხვრევა – შრობა – ფრაქციონირება – შეფუთვის ოპერაციებს. მზა პროდუქციის მომხმარებელზე მიწოდება ხდება საავტომობილო, სარკინიგზო და საზღვაო ტრანსპორტით საქართველოს შავი ზღვის ნავსადგურ ფოთიდან.

ბოლო დრომდე ითვლებოდა, რომ აფუებული პერლიტის მიღება შესაძლებელი იყო მხოლოდ მუავა შედგენილობის მინისებრი ვულკანური ჯიშებიდან, მაგრამ კვლევებით დადგინდა, რომ ვულკანური მინის აფუებისათვის პერლიტოვანი სტრუქტურა არ არის განმსაზღვრელი. მთავარ ფაქტორად ითვლებოდა ის, რომ მასში არსებობს გახსნილი წყალი და აირი. მისი მსგავსი მინერალებია: ვიტროფირი, პესტეინი და ობსიდიანი. ეს მინერალები ბუნებრივ მდგომარეობაში გენეტიკურად დაკავშირებულია ერთმანეთთან – ისინი ვულკანური წყალშემცველი მინისებრი ჯიშებია და გაერთიანებულია საერთო სათაურით: “აფუებული პერლიტი”. ხელოვნური ფოროვანი შემესების მისაღებად მსოფლიო მასშტაბით, აფუებული პერლიტის გამოყენება წარმოადგენს 20 მლნ.მ<sup>3</sup> წელიწადში. აფუებული პერლიტის მსხვილ მწარმოებლად ითვლებიან აშშ, გერმანია, საფრანგეთი, იტალია, საბერძნეთი, ესპანეთი, ისრაელი, ჩინეთი, რუსეთი.

ვინაიდან პერლიტის ქვიშა და ღორღი ძალზე მსუბუქი, არაწვადი და არატოქსიკურია, მის გამოყენებას აქვს ფართო დიაპაზონი. მცირე ნაყარი მოცულობითი მასის გამო მას ხმარობენ თბოსაიზოლაციო, აკუსტიკურ, ცეცხლგამძლე, ანტიკოროზიულ დუღაბებში და სხვ.

პერლიტის ნედლეულის ქიმიური შედგენილობა გამოისახება ოქსიდების სახით:

SiO<sub>2</sub> – 69.5 – 73.0

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 12.1 – 15.6

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0.78 – 3.40

CaO – 0.84 – 2.70

MgO – 0.01 – 1.90

SO<sub>3</sub> – 0.05 – 1.24

Na<sub>2</sub>O ÷ K<sub>2</sub>O – 6.1 ÷ 8.4

წდგ – 3.0 ÷ 5.0

ბუნებრივი პერლიტები იყოფა ორ სახეობად: მძიმე და მსუბუქი. შესწავლის შედეგად აღმოჩნდა, რომ ფარავნის პერლიტი მიეკუთვნება მსუბუქ სახეობას.

**პერლიტის ნედლეულის ბუნებრივი და აფუებული სახეობები**

ცხრილი 2.3

პერლიტი	სიმკვრივე $\rho - მ/მ^3$	ნაყარი სიმკვრივე $\rho - კგ/მ^3$	ქვიშის სიმსხოს მოლული Mსიმ	წყალ- შთანთქმა Wმასით, %	აფუების კოეფიციენტი t = 800–1150°C
ბუნებრივი	2.29	840	4	50	6–18
აფუებული	1.3	63	ძალიან წვრილი	>100	

ამრიგად, ზემოთ მოყვანილი ანალიზიდან შეიძლება გაკეთდეს დასკვნა, რომ ცეოლითების (კლინოპტილოლიტი, მორდენიტი, შაბაზიტი, ერიონიტი და სხვ.) ჯგუფიდან ნავთობ- და ცხიმშემცველი პროდუქტებით დაბინძურებული სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად მცირე ობიექტებისთვის (ავტოსამრეცხაოები, რესტორნები და სხვ.) თავისი გამფილტრავი (მშთანთქავი და აკუმულაციის) მაღალი უნარის გამო რეკომენდებულია გამოყენებულ იქნას პერლიტის ნედლეული. ეს მასალა ადვილად ხელმისაწვდომი და გაცილებით იაფია სხვა ადსორბენტ მასალებთან შედარებით და მოიპოვება საქართველოს პირობებში.

თავი 3. სამეცნიერო-კვლევითი ექსპერიმენტები  
პერლიტის, როგორც ნავთობ- და ცხიმშემცველი ჩამდინარი  
წყლების გამწმენდ მასალად გამოყენების  
შესაძლებლობის დასადგენად

**3.1. პერლიტის ადსორბციის ხარისხის დამოკიდებულება  
მანქანის ზეთისა და თხევადი ცხიმის კონცენტრაციაზე**

წყალსატევების სისუფთავის შენარჩუნების სწორი გადაწყვეტა გულისხმობს იმ ზოგად კანონზომიერებათა შეცნობას, რომელსაც ემყარება წყლის არეში მიმდინარე პროცესები და მათ საფუძველზე მრავალი ეფექტური ღონისძიების გატარებას, მათ შორის, წყლის გაწმენდის ყველაზე რაციონალური ტექნოლოგიის შექმნას, რომელთაგან მნიშვნელოვანია ადსორბციული მეთოდი, თუმცა ლიტერატურული მონაცემების მიხედვით დღეისათვის ადსორბციული მეთოდებით დიდი მოცულობის წყლის გასუფთავების კვლევები მცირე რაოდენობითაა წარმოდგენილი. ადსორბციული მეთოდები გამოიყენება კატასტროფების შედეგების ლიკვიდაციისათვის, აგრეთვე, დაღვრილი ნივთიერებების შესაგროვებლად მსხვილი ეკოლოგიური კატასტროფების თავიდან აცილების მიზნით.

ჩვენი კვლევის მიზანია ნავთობ- და ცხიმშემცველი ჩამდინარე წყლების გაწმენდა ადსორბციის მეთოდით, რისთვისაც ჩვენს მიერ გამოყენებულ იქნა ადგილობრივი წარმოშობის მასალა – პერლიტი, რომელიც იაფი და ადვილად ხელმისაწვდომია.

დასახული პრობლემის გადაწყვეტის მიზნით შესწავლილ იქნა ცხიმებისა და ნავთობპროდუქტების ადსორბციის პროცესი სტატიკურ და დინამიკურ პირობებში, შესწავლილ იქნა ადსორბციის ხარისხის დამოკიდებულება ხსნარების კონცენტრაციასა და ტემპერატურაზე.

გამოყენებულ იქნა სხვადასხვა კონცენტრაციის ხსნარები 0,1%-დან 25%-მდე. ხსნარები მზადდებოდა ჩვენ მიერ. ანალიზისათვის შერჩეულ იქნა თხევადი ზეთი – ”ოლეინა”, სისუფთავით 99,9%. ვიღებდით საზომ კოლბას, რომელშიც ვათავსებდით შესაბამისი მოცულობის ზეთს და კოლბას ვავსებდით დისტილირებული წყლით ჭდემდე, მიღებული

ხსნარი გადაგვქონდა შედარებით დიდი ზომის ჭურჭელში, თავს ვახურავდით ჰერმეტიკულად და ვათავსებდით მექანიკურ სარეველაზე 1,5 სთ-ის განმავლობაში. ხსნარის კონცენტრაციის გაზრდის პარალელურად ვზრდით სარეველაზე ნჯღრევის ხანგრძლივობას.

მიღებულ ხსნარებს ოთახის ტემპერატურაზე (25°C-ზე) ვატარებდით 10 სმ სისქის პერლიტის ფენაში, რომელიც მოთავსებული იყო 10 სმ დიამეტრის მქონე მინის მილში, რომელიც ბოლოვდებოდა ონკანით. პროცესის დაწყების დროს ვინიშნავდით და ვიღებდით ყოველ 10-15 წთ-ის ფრაქციას. მიღებული სინჯების ანალიზს ვაკეთებდით ქანგბადის ქიმიური მოხმარების (კბმ) მიხედვით პერმანგანატომეტრული ტიტრის მეთოდით [29]. მეთოდი ემყარება წყალში არსებული ნივთიერებების დაქანგვას კალიუმის პერმანგანატის 0.01 ნ ხსნარით, გოგირდმჟავას გარემოში, დუდილის დროს.

პერმანგანატული დაქანგვით განსაზღვრისათვის რეაქციის შემდეგ კალიუმის პერმანგანატი უნდა დარჩეს არა უმეტეს 40 %, რადგანაც დაქანგვის ხარისხი დამოკიდებულია მის კონცენტრაციაზე. დიდი რაოდენობით დახარჯვის შემთხვევაში სინჯი უნდა განზავდეს.

**აპარატურა:** 1) ბრტყელძირა კოლბები დუდილისათვის არანაკლებ 250–300 მლ მოცულობის. ახალ კოლბებს ხმარების წინ ვამუშავებდით კალიუმის პერმანგანატის შემჟავებული ხსნარით. 2) მინის ბურთულები, კაპილარები ან პემზა.

**რეაქტივები:** 1) დისტილირებული წყალი, რომელიც არ შეიცავს დამჟანგავებს, ვიყენებდით რეაქტივების მოსამზადებლად და სინჯების განზავებისათვის.

2) გოგირდმჟავა, განზავებული (1:3) ხსნარი. 1 მოცულობა 1.84 გ/სმ<sup>3</sup> სიმკვრივის გოგირდმჟავას ვუმატებდით მორევის პირობებში სამ მოცულობა დისტილირებული წყალს, 40°C-მდე გაცივებისას მას ვუმატებდით 0.01 ნ კალიუმის პერმანგანატის ხსნარს, ღია ვარდისფერ შეფერვამდე. 3) გოგირდმჟავას განზავებულ (1:15) ხსნარს, 4) მჟაუნმჟავას 0.01 ნ ხსნარს, ვამზადებდით ფიქსანალისაგან. 5) კალიუმის პერმანგანატის, 0.01 და 0.01 ნ ხსნარები. ა) 0.1 ნ კალიუმის პერმანგანატის ძირითად ხსნარს ვამზადებდით ფიქსანალისაგან. ვინახავდით მუქ ჭურჭელში, იშვიათი შენჯღრევით, მოვიხმარდით 2-3 კვირის შემდეგ. ბ) 0.016

კალიუმის პერმანგანატის სამუშაო ხსნარს ვამზადებდით ძირითადი ხსნარის განზავებით, ვინახავდით მუქ ჭურჭელში და რამდენიმე დღის შემდეგ ვადგენდით ხსნარის ტიტრს. ამისათვის კონუსურ კოლბაში ვასხამდით 100 მლ გამოხდილ წყალს, ვუმატებდით 10 მლ 0.01 ნ მჟაუნმჟავას და 5 მლ გოგირდმჟავას (1:3), ნარევეს ვაცხელებდით ადუღებამდე და ოდნავ გაცივებით (80-90<sup>0</sup>C–მდე) ვტიტრავდით 0.01 ნ კალიუმის პერმანგანატის ხსნარით, ღია ვარდისფერ შეფერვამდე.

ანალიზს ვატარებდით შემდეგნაირად: კოლბაში ვათავსებდით 100 მლ საკვლევე ხსნარს და რამდენიმე კაპილარს, ვასხამდით 5 მლ განზავებულ გოგირდმჟავას (1:3), 20 მლ 0.01 ნ კალიუმის პერმანგანატს და ნარევეს ვაცხელებდით ისე, რომ ადუღებულისე არაუგვიანეს 5 წთ-ში, ვადუღებდით ზუსტად 10 წთ, დუღილის შემდეგ ცხელ ხსნარს ვუმატებდით 10 მლ 0.01 ნ მჟაუნმჟავას, გაუფერულებულ ცხელ (80-90<sup>0</sup>C) ნარევეს ვტიტრავდით 0.01 ნ კალიუმის პერმანგანატის ხსნარით ღია-ვარდისფერ შეფერვამდე.

იმავედროულად ვატარებდით თავისუფალ ცდას: 100 მლ დისტილირებული წყლით და ვამუშავებდით ისე, როგორც საანალიზო ხსნარს. დახარჯული კალიუმის პერმანგანატის ხსნარი არ აღემატებოდა 0.3 მლ-ს.

პერმანგანატით დაუანგვის სიდიდეს (მგO/ლ) ვანგარიშობდით ფორმულით

$$X = \frac{(A - B) \cdot K \cdot 0,01 \cdot 8 \cdot 1000}{V} = \frac{(A - B) \cdot K \cdot 80}{V}, \quad (3.1)$$

სადაც: A და B კალიუმის პერმანგანატის მოცულობაა – დახარჯული თავისუფალი და საკვლევი ხსნარის გატიტვრაზე მლ-ში; K – კალიუმის პერმანგანატის ხსნარის შესწორების კოეფიციენტი, V – ანალიზისათვის აღებული სინჯის მოცულობა, მლ.

ოთახის ტემპერატურაზე (25<sup>0</sup>C) მანქანის ზეთისა და თხევადი ცხიმის ადსორბციის ხარისხის კონცენტრაციაზე დამოკიდებულებების შედეგები მოცემულია 3.1 და 3.2 ცხრილებში. ამ მონაცემების მიხედვით ზეთისა და ცხიმის კონცენტრაციის გაზრდისას პროპორციულად იზრდება პერლიტის ადსორბციის ხარისხი და მაქსიმუმს აღწევს 17%-იანი ცხიმის შემთხვევაში. კონცენტრაციის შემდგომი ზრდა აღარ მოქმედებს ადსორბციის ხარისხზე.

მანქანის ზეთის აღსორბციის ხარისხის  
დამოკიდებულება კონცენტრაციაზე

ცხრილი 3.1

ზეთის შემცველობა, %	0.1	0.5	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
სსნარის გატარებ- რაზე დახარჯული K <sub>2</sub> MnO <sub>4</sub> -ის რაოდენობა	84.8	164.8	204.8	188.8	276.8	292.8	300.8	324.8	332.8	372.8	420.8	404.8	412.8	404.8
ფილტრზე გატარების მიღებული სსნარის კონცენტრაციაზე დახარჯული K <sub>2</sub> MnO <sub>4</sub> -ის რაოდენობა (საბოლოო)	68.8	132.8	156.8	132.8	220.8	228.8	244.8	252.8	252.8	292.8	324.8	324.8	340.8	324.8
აღსორბციის ხარისხი	16	32	48	56	56	64	56	72	80	80	96	80	72	80
აღსორბციის ხარისხი, %	18	20	20	26.6	20	20	17.7	21.8	23.07	21.3	22.3	18.9	17.1	19.1

თხევადი ცხიმის ადსორბციის ხარისხის  
დამოკიდებულება კონცენტრაციაზე  
ცხრილი 3.2

ცხიმის შემცველობა, %	0.1	0.5	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
ხსნარის გატეხვ- რაზე დახარჯული $K_2MnO_4$ -ის რაოდენობა	68.8	132.8	196.8	164.8	244.8	260.8	244.8	260.8	292.8	360.8	388.8	388.8	380.8	372.8
ფილტრში გატარების მიღებული ხსნარის გატეხვზე დახარჯული $K_2MnO_4$ -ის რაოდენობა (საბოლოო)	44.8	100.8	156.8	116.8	187.8	196.8	176.8	185.6	212.8	275.8	296.8	299.8	292.8	292.8
ადსორბციის ხარისხი	24	32	40	48	57	64	68	75.2	80	85.6	92	92	88	80
ადსორბციის ხარისხი, %	34	24	20	28.6	20	22.8	27.7	27.2	26.1	22.6	23.5	23.1	22.8	27.8

### 3.2. პერლიტის ადსორბციის ხარისხის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე

ადსორბციის ხარისხის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების განსაზღვრად ცდა ჩატარეთ იმავე ხელსაწყოში, რომელსაც წინა ცდისთვის ვიყენებდით. ცდას ვატარებდით 20, 30 და 40°C-ზე. საჭირო ტემპერატურას ვინარჩუნებდით მუდმივი გაზომვის პირობებში. სხვადასხვა ტემპერატურულ რეჟიმში პერლიტის ადსორბციის უნარი მანქანის ზეთისა და თხევადი ცხიმის მიმართ ჩატარდა 19, 21 და 23%-იან ხსნარებზე 20, 30 და 40°C ტემპერატურებზე. ცდისათვის ვიყენებდით იმავე მარკის თხევად ცხიმს, გამზადდებით საჭირო კონცენტრაციის ხსნარებს, რომლებსაც ზუსტად განსაზღვრულ ტემპერატურის პირობებში ვატარებდით პერლიტის 10 სმ სისქის ფენაში. მიღებული შედეგების საფუძველზე დადგინდა, რომ ტემპერატურის გაზრდით პერლიტის ადსორბციის უნარი მცირდება. ცდების შედეგები მოყვანილია ცხრილებში.

#### თხევადი ცხიმის ადსორბციის ხარისხის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე 20°C-ზე

ცხრილი 3.3

საკვლევი ხსნარის კონცენტრაცია, %	ადსორბციის ხარისხი %
19	92
21	88
23	80

**თხევადი ცხიმის ადსორბციის ხარისხის  
დამოკიდებულება ტემპერატურაზე 30°C-ზე**

ცხრილი 3.4

საკვლევი ხსნარის კონცენტრაცია, %	ადსორბციის ხარისხი %
19	88
21	80
23	48

**თხევადი ცხიმის ადსორბციის ხარისხის  
დამოკიდებულება ტემპერატურაზე 40°C-ზე**

ცხრილი 3.5

საკვლევი ხსნარის კონცენტრაცია, %	ადსორბციის ხარისხი %
19	144
21	80
23	40

**მანქანის ზეთის ადსორბციის ხარისხის  
დამოკიდებულება ტემპერატურაზე 20°C-ზე**

ცხრილი 3.6

საკვლევი ხსნარის კონცენტრაცია, %	ადსორბციის ხარისხი %
19	80
21	72
23	81

**მანქანის ზეთის ადსორბციის ხარისხის  
დამოკიდებულება ტემპერატურაზე 30°C-ზე**

ცხრილი 3.7

საკვლევი ხსნარის კონცენტრაცია, %	ადსორბციის ხარისხი %
19	69
21	70
23	45

**მანქანის ზეთის ადსორბციის ხარისხის  
დამოკიდებულება ტემპერატურაზე 40°C-ზე**

ცხრილი 3.8

საკვლევი ხსნარის კონცენტრაცია, %	ადსორბციის ხარისხი %
19	100
21	70
23	40

**3.3. ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა ამონაკრებების ექსტრემალურ  
მნიშვნელობათა შემოწმება სტატიკურ სარწმუნოებაზე**

ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა ამონაკრებების მონაცემთა მათე-მატიკურ-სტატისტიკური დამუშავების მიზნით ჩატარებულ იქნა სათანადო ლიტერატურული წყაროების ანალიზი [30-44].

ექსპერიმენტული მონაცემების ამონაკრებში შეიძლება მოხდეს საექვო მონაცემები (ასეთებია: უკიდურესად მაღალი ან უკიდურესად მინიმალური ექსტრემალური მნიშვნელობა). ასეთი მონაცემების არსებობა ამონაკრებში მონაცემთა სტატისტიკური დამუშავების შედეგების განსაზღვრის დროს იწვევს გაუთვალისწინებელ ცდომილებებს და ისინი უნდა იქნეს გამოვლენილი და უგულებელყოფილი. ამონაკრებში

რჩება მხოლოდ მონაცემთა ის მნიშვნელობები, რომლებიც ექსპერიმენტული დაკვირვების გენერალურ რიგს შეესაბამება და გამოთვლილი სტატისტიკური მახასიათებლებიც სარწმუნოდ ჩაითვლება.

ამრიგად, დგება შემდეგი სახის ამოცანა: გამოვლენილ და უკუგდებულ იქნეს საექვო მონაცემები, რომლებიც ექსპერიმენტული დაკვირვების რიგს არ მიეკუთვნებიან. ამ ნულოვანი ჰიპოთეზის შემოწმებისათვის იყენებენ განსაკუთრებულ კრიტერიუმებს.

ექსტრემალურ მონაცემთა საექვობის შემოწმების კრიტერიუმი, რომლის დროსაც დაიშვება შემდეგი ჰიპოთეზა: ამონაკრების რანჟირებულ რიგში შემოწმებულ იქნას განსხვავება საექვო მონაცემებსა (ეთქვათ ექსტრემალურ მინიმუმსა და ექსტრემალურ მაქსიმუმს შორის) და მათ მეზობელ წევრებს შორის. ამისათვის გამოიყენება ფორმულები [30]:

$$t_1 = \frac{x_2 - x_1}{x_{n-1} - x_1}, \quad (3.2)$$

$$t_2 = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_2}. \quad (3.3)$$

$t_1$  სიდიდეს იყენებენ დაკვირვებათა რანჟირებული რიგის მინიმალური  $x_1$  სიდიდის შესამოწმებლად, ხოლო  $t_2$  სიდიდეს – ამ რიგის მაქსიმალური  $x_2$  სიდიდის შესამოწმებლად. ნულოვანი ჰიპოთეზა,  $n$  მოცულობის რიგის შემთხვევაში,  $\alpha$  მიღებული სარწმუნობის დროს ( $\alpha=0.05$ ) უკუგდებულად შეიძლება ჩაითვალოს, თუ

$t_{\text{ფაქტ}} \geq t_{\text{st}}$  ( $t_1$  და  $t_2$  კრიტიკული წერტილების ცხრილური მნიშვნელობები  $t_{\text{st}}$  მოყვანილია ცხრ. XVII და ცხრ. XVIII [30]).

მოყვანილი პროცედურის თანახმად მანქანის ზეთისა და თხევადი ცხიმის ექსპერიმენტულად დაკვირვებულ მონაცემთა საწყისი რიგები მოყვანილია 3.9 ცხრილში, ხოლო მანქანის ზეთისა და თხევადი ცხიმის ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა მონაცემების მიხედვით შედგენილი რანჟირებული რიგები კი მოყვანილია 3.10 ცხრილში.

მოყვანილი კრიტერიუმებისა და ანგარიშის პროცედურის შესაბამისად სტატისტიკურ სარწმუნოებაზე შევამოწმოთ მანქანის ზეთის ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა რიგები (საწყისი, საბოლოო, და აღსორბციის ხარისხის მიხედვით) (ცხრ. 3.11). ანალოგიურად შევამოწმოთ თხევადი ცხიმის ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა რიგები (საწყისი, საბოლოო, და აღსორბციის ხარისხის მიხედვით) (ცხრ. 3.12). ამისათვის ანგარიშის პროცედურის შესაბამისად, საჭიროა წინასწარ ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა რიგების მიხედვით შედგენილ იქნეს მათი რანჟირებული მნიშვნელობათა რიგები (ცხრ. 3.10).

3.11 ცხრილში მოყვანილია მანქანის ზეთის ექსპერიმენტული დაკვირვებების მონაცემების მიხედვით (საწყისი, საბოლოო, აღსორბციის ხარისხი) საეჭვო მონაცემების შემოწმების შედეგები.

საანალიზო ექსპერიმენტული დაკვირვების რიგების მონაცემთა სტატისტიკურ სარწმუნოებაზე შესამოწმებლად ( $\alpha = 0,05$ ) გამოვიყენოთ აგრეთვე ნულოვანი ჰიპოთეზის დაშვება, რომელიც მდგომარეობს დაკვირვებათა რიგის მონაცემების შემოწმებაში  $t$  ნორმირებული გადახრების მიხედვით [30].

$$t = \frac{(x_i - \bar{x})}{S_x}, \quad (3.4)$$

სადაც  $x_i$  შესამოწმებელი მონაცემის სიდიდეა;  $\bar{x}$  – ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა რიგის საშუალო არითმეტიკული (მათემატიკური მოლოდინი);  $S_x$  – დაკვირვებათა რიგის საშუალო კვადრატული გადახრის სიდიდე.

სარწმუნოებაზე შემოწმების პროცედურა მდგომარეობს შემდეგში: თუ ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა რიგში აღებული  $x_i$  მონაცემის მიხედვით გათვლილი  $t_{\text{გაქ}}$  კრიტერიუმი ნაკლები ან ტოლი იქნება  $t_{\text{ცხრ}}$ , მაშინ ჩაითვლება, რომ ეს მონაცემი სტატისტიკურად სარწმუნოა მიღებული  $\alpha = 0,05$  დაშვებით. წინააღმდეგ შემთხვევაში ( $t_{\text{გაქ}} > t_{\text{ცხრ}}$ ) ეს მონაცემი უკუგდება უნდა იქნეს.

მოცემული სტატისტიკური პროცედურის შესაბამისად ვიანგარიშით ჩვენს მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა რიგების მონაცემების შემოწმება ( $\alpha = 0,05$  სარწმუნოებით) მანქანის ზეთისა და თხევადი ცხიმის მიხედვით (ცხრ. 3.13 და ცხრ. 3.14).

იმისათვის, რომ ვაჩვენოთ წინა მეთოდით მიღებული შედეგების ადეკვატურობა, ანალიზისათვის ავიღოთ იგივე დაკვირვება მონაცემების მინიმალური ექსტრემალური და მაქსიმალური ექსტრემალური მონაცემების მნიშვნელობები როგორც მანქანის ზეთის, ასევე თხევადი ცხიმის შემთხვევაში.

ამრიგად, მანქანის ზეთის (საწყისი, საბოლოო და აღსორბციის ხარისხის მიხედვით) ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა რიგების ერთი მეთოდის შემოწმებამ საეჭვო მნიშვნელობაზე (ექსტრემალური მინიმუმისა და ექსტრემალური მაქსიმუმის მიხედვით) აჩვენა, რომ (3.11 და 3.12 ცხრილების შედეგები) დაკვირვებათა რიგების ყველა მონაცემი სტატისტიკური პროცედურის კრიტერიუმების მიხედვით სარწმუნოა და ისინი შეიძლება მიეკუთვნოს ერთიან გენერალურ რიგს, ანუ მათ საფუძველზე შესაძლებელია მოდელირების ჩატარება და საკვლევი გამფილტრავი მასალის დახასიათება.

ანალოგიურად შემოწმდა დაკვირვებათა იგივე რიგები სხვა მეთოდზე (ნორმირებული გადახრის კრიტერიუმის გამოყენებით). მიღებულმა შედეგებმა (ცხრ. 3.13 და ცხრ. 3.14) დაადასტურა პირველი მეთოდით მიღებული შედეგები.

მანქანის ზეთისა და თხევადი ცხიმის ექსპერიმენტულად  
დაკვირვებულ მონაცემთა საანალიზო საწყისი რიგები

ცხრილი 3.9

№	საწყისი მონაცემები		საბოლოო მონაცემები		აღსორბციის ხარისხი	
	მანქანის ზეთი	თხევადი ცხიმი	მანქანის ზეთი	თხევადი ცხიმი	მანქანის ზეთი	თხევადი ცხიმი
1	84.8	68.8	68.8	44.8	16	24
2	164.88	132.8	132.8	100.8	32	32
3	204.8	196.8	156.8	156.8	48	40
4	188.8	164.8	132.8	116.8	56	48
5	276.8	244.8	220.8	187.8	56	57
6	292.8	260.8	228.8	196.8	64	64
7	300.8	244.8	244.8	176.8	56	68
8	324.8	260.8	252.8	185.6	72	75.2
9	332.8	292.8	252.8	212.8	80	80
10	372.8	360.8	292.8	275.2	80	85.6
11	420.8	388.8	324.8	296.8	96	92
12	404.8	388.8	324.8	299.8	80	92
13	412.8	380.8	340.8	292.8	72	88
14	404.8	372.8	324.8	292.8	80	80

მანქანის ზეთისა და თხევადი ცხიმის ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა  
 მონაცემების მიხედვით შედგენილი რანჟირებული რიგები

ცხრილი 3.10

№	საწეისი		საბოლოო		ადსორბციის ხარისხი	
	მანქანის ზეთი	თხევადი ცხიმი	მანქანის ზეთი	თხევადი ცხიმი	მანქანის ზეთი	თხევადი ცხიმი
1	84.8	68.8	68.8	44.8	16	24
2	164.88	132.8	132.8	100.8	32	32
3	188.8	164.8	132.8	116.8	48	40
4	204.8	196.8	156.8	156.8	56	48
5	276.8	244.8	220.8	176.8	56	57
6	292.8	244.8	228.8	185.8	56	64
7	300.8	260.8	244.8	187.6	64	68
8	324.8	260.8	252.8	212.8	72	75.2
9	332.8	292.8	252.8	275.2	72	80
10	372.8	360.8	292.8	292.8	80	80
11	404.8	372.8	324.8	292.8	80	85.6
12	404.8	380.8	324.8	292.8	80	28.88
13	412.8	388.8	324.8	296.8	80	92
14	420.8	389.0	340.8	299.8	96	92.8

**მანქანის ზეთის ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა მონაცემების მიხედვით  
(საწყისი, საბოლოო, აღსორბციის ხარისხი) საეჭვო მონაცემების  
შემოწმების შედეგები**

ცხრილი 3.11

მანქანის ზეთი					
საწყისი		საბოლოო		აღსორბციის ხარისხი	
t <sub>1</sub> კრიტერიუმი	t <sub>2</sub> კრიტერიუმი	t <sub>1</sub> კრიტერიუმი	t <sub>2</sub> კრიტერიუმი	t <sub>1</sub> კრიტერიუმი	t <sub>2</sub> კრიტერიუმი
<p>ტეაქ = (164,88 - 84,8) / (412,8 - 84,8) = 0,244. ტეაქ = 0,244, როდესაც n=14, a=0,05, მაშინ <math>t_{st}=0,35</math> (ცხრ 17 [22]). რადგან ტეაქ &lt; <math>t_{st}</math> ანუ <math>0,244 &lt; 0,35</math>, ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დაკვირვებათა რიგის ყველა წევრი (მათ შორის, მინიმუმი - 84,4) სარწმუნოა და მკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს</p>					
<p>ტეაქ = (420,8 - 412,8) / (420,8 - 164,88) = 0,03. ტეაქ = 0,03, როდესაც n=14, a=0,05, მაშინ <math>t_{st}=0,40</math> (ცხრ 18 [22]). რადგან ტეაქ &lt; <math>t_{st}</math> ანუ <math>0,03 &lt; 0,40</math>, ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დაკვირვებათა რიგის ყველა წევრი (მათ შორის, მაქსიმუმი - 420,8) სარწმუნოა და მკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს</p>					
<p>ტეაქ = (132,8 - 68,8) / (324,8 - 68,8) = 0,25. ტეაქ = 0,25, როდესაც n=14, a=0,05, მაშინ <math>t_{st}=0,35</math> (ცხრ 17 [22]). რადგან ტეაქ &lt; <math>t_{st}</math> ანუ <math>0,25 &lt; 0,35</math>, ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დაკვირვებათა რიგის ყველა წევრი (მათ შორის, მინიმუმი - 68,8) სარწმუნოა და მკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს</p>					
<p>ტეაქ = (340,8 - 324,8) / (340,8 - 132,8) = 0,077 ტეაქ = 0,077, როდესაც n=14, a=0,05, მაშინ <math>t_{st}=0,40</math> (ცხრ 18 [22]). რადგან ტეაქ &lt; <math>t_{st}</math> ანუ <math>0,077 &lt; 0,40</math>, ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დაკვირვებათა რიგის ყველა წევრი (მათ შორის, მაქსიმუმი - 340,8) სარწმუნოა და მკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს</p>					
<p>ტეაქ = (32 - 16) / (80 - 16) = 0,25. ტეაქ = 0,25, როდესაც n=14, a=0,05, მაშინ <math>t_{st}=0,35</math> (ცხრ 17 [22]). რადგან ტეაქ &lt; <math>t_{st}</math> ანუ <math>0,25 &lt; 0,35</math>, ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დაკვირვებათა რიგის ყველა წევრი (მათ შორის, მინიმუმი - 16) სარწმუნოა და მკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს</p>					
<p>ტეაქ = (96 - 80) / (96 - 32) = 0,25. ტეაქ = 0,25, როდესაც n=14, a=0,05, მაშინ <math>t_{st}=0,40</math> (ცხრ 18 [22]). რადგან ტეაქ &lt; <math>t_{st}</math> ანუ <math>0,25 &lt; 0,40</math>, ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დაკვირვებათა რიგის ყველა წევრი (მათ შორის, მაქსიმუმი - 96) სარწმუნოა და მკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს</p>					

**თხევადი ცხიმის ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა მონაცემების მიხედვით  
(საწყისი, საბოლოო, აღსორბციის ხარისხი) საეჭვო მონაცემების  
შემოწმების შედეგები**

ცხრილი 3.12

თხევადი ცხიმი							
საწყისი		სიმბოლო		აღსორბციის ხარისხი			
$t_1$ კრიტერიუმი	$t_1$ კრიტერიუმი	$t_1$ კრიტერიუმი	$t_1$ კრიტერიუმი	$t_1$ კრიტერიუმი	$t_1$ კრიტერიუმი		
<p><math>t_{ფაქ} = (132,8 - 68,8) / (3888 - 68,8) = 0,2</math> <math>t_{ფაქ} = 0,2</math> როდესაც <math>n = 14</math>, <math>a = 0,05</math> მაშინ <math>test = 0,35</math> (ცხრ.17 [22]). რადგან <math>t_{ფაქ} &lt; test</math> ანუ <math>0,2 &lt; 0,35</math>, ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დააკვირდება რიგის ყველა წევრი (მათ შორის,, მინიმუმი – 68, 8) არწმუნოა და მკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს</p>		<p><math>t_{ფაქ} = (389 - 388,8) / (389 - 123,8) = 0,0008</math> <math>t_{ფაქ} = 0,0008</math> როდესაც <math>n = 14</math>, <math>a = 0,05</math> მაშინ <math>test = 0,40</math> (ცხრ.18 [22]). რადგან <math>t_{ფაქ} &lt; test</math> ანუ <math>0,0008 &lt; 0,40</math>, ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დაკვირვებათა რიგის ყველა წევრი (მათ შორის,, მინიმუმი – 389) სარწმუნოა და მკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს</p>		<p><math>t_{ფაქ} = (100,8 - 44,8) / (296,8 - 44,8) = 0,22</math> <math>t_{ფაქ} = 0,22</math> როდესაც <math>n = 14</math>, <math>a = 0,05</math> მაშინ <math>test = 0,35</math> (ცხრ.17 [22]). რადგან <math>t_{ფაქ} &lt; test</math> ანუ <math>0,22 &lt; 0,35</math>, ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დააკვირდება რიგის ყველა წევრი (მათ შორის,, მინიმუმი – 44,8) სარწმუნოა და მკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს</p>		<p><math>t_{ფაქ} = (299,8 - 299,8) / (299,8 - 100,8) = 0,2</math> <math>t_{ფაქ} = 0,2</math> როდესაც <math>n = 14</math>, <math>a = 0,05</math> მაშინ <math>test = 0,40</math> (ცხრ.18 [22]). რადგან <math>t_{ფაქ} &lt; test</math> ანუ <math>0,2 &lt; 0,40</math>, ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დააკვირდება რიგის ყველა წევრი (მათ შორის,, მაქსიმუმი – 299,8) არწმუნოა და მკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს</p>	
<p><math>t_{ფაქ} = (32 - 24) / (92 - 24) = 0,118</math> <math>t_{ფაქ} = 0,118</math>. როდესაც <math>n = 14</math>, <math>a = 0,05</math> მაშინ <math>test = 0,35</math> (ცხრ.17 [22]). რადგან <math>t_{ფაქ} &lt; test</math> ანუ <math>0,118 &lt; 0,35</math>, ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დააკვირდება რიგის ყველა წევრი (მათ შორის,, მინიმუმი – 24) სარწმუნოა და მკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს</p>		<p><math>t_{ფაქ} = (92,8 - 92) / (92,8 - 32) = 0,013</math> <math>t_{ფაქ} = 0,013</math> როდესაც <math>n = 14</math>, <math>a = 0,05</math> მაშინ <math>test = 0,40</math> (ცხრ.18 [22]). რადგან <math>t_{ფაქ} &lt; test</math> ანუ <math>0,013 &lt; 0,40</math>, ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დააკვირდება რიგის ყველა წევრი (მათ შორის,, მაქსიმუმი – 92,2) სარწმუნოა და მკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს</p>					

მანქანის ზეთის ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა მონაცემების (საწყისი, საბოლოო, ადსორბციის ხარისხი) სტატისტიკური სარწმუნოების შემოწმება t ნორმირებული გადახრების მიხედვით

ცხრილი 3.13

მანქანის ზეთი					
საწყისი		საბოლოო		ადსორბენტის ხარისხი	
$t_1$ კრიტერიუმი	$t_2$ კრიტერიუმი	$t_1$ კრიტერიუმი	$t_2$ კრიტერიუმი	$t_1$ კრიტერიუმი	$t_2$ კრიტერიუმი
$t_{ფაქ} = \frac{84,8 - 299,09}{101,01} = -2,12$ ; $t_{ფაქ} = -2,12$ . როდესაც $n=14$ , $a=0.05$ , მაშინ $t_{ფაქ} < t_{ანუ} = 2,12 < 2,6$ , ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დაკვირვებით რიგის ყველა წევრი (მათ შორის, მინიმუმი - 84,8) სარწმუნოა და ეკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს	$t_{ფაქ} = \frac{420,8 - 299,09}{101,01} = 1,2$ ; $t_{ფაქ} = 1,2$ . როდესაც $n=14$ , $a=0.05$ , მაშინ $t_{ფაქ} < t_{ანუ} = 1,2 < 2,6$ , ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დაკვირვებით რიგის ყველა წევრი (მათ შორის, მაქსიმუმი - 420,8) სარწმუნოა და ეკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს	$t_{ფაქ} = \frac{68,8 - 235,657}{82,08} = -2,03$ ; $t_{ფაქ} = -2,03$ . როდესაც $n=14$ , $a=0.05$ , მაშინ $t_{ფაქ} < t_{ანუ} = 2,03 < 2,6$ , ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დაკვირვებით რიგის ყველა წევრი (მათ შორის, მინიმუმი - 68,8) სარწმუნოა და ეკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს	$t_{ფაქ} = \frac{340,8 - 235,657}{82,08} = 1,28$ ; $t_{ფაქ} = 1,28$ . როდესაც $n=14$ , $a=0.05$ , მაშინ $t_{ფაქ} < t_{ანუ} = 1,28 < 2,6$ , ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დაკვირვებით რიგის ყველა წევრი (მათ შორის, მაქსიმუმი) სარწმუნოა და ეკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს	$t_{ფაქ} = \frac{16 - 63,428}{21,88} = -2,17$ ; $t_{ფაქ} = -2,17$ . როდესაც $n=14$ , $a=0.05$ , მაშინ $t_{ფაქ} < t_{ანუ} = 2,17 < 2,6$ , ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დაკვირვებით რიგის ყველა წევრი (მათ შორის, მინიმუმი) სარწმუნოა და ეკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს	$t_{ფაქ} = \frac{92,8 - 63,428}{21,88} = 1,34$ ; $t_{ფაქ} = 1,34$ . როდესაც $n=14$ , $a=0.05$ , მაშინ $t_{ფაქ} < t_{ანუ} = 1,34 < 2,6$ , ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დაკვირვებით რიგის ყველა წევრი (მათ შორის, მაქსიმუმი) სარწმუნოა და ეკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს

თხევადი ცხიმის ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა მონაცემების (საწყისი, საბოლოო, ადსორბციის ხარისხი) სტატისტიკური სარწმუნოების შემოწმება t ნორმირებული გადახრების მიხედვით

ცხრილი 3.14

თხევადი ცხიმი					
საწყისი		საბოლოო		ადსორბენტის ხარისხი	
ქ <sub>1</sub> კრიტერიუმი	ქ <sub>2</sub> კრიტერიუმი	ქ <sub>1</sub> კრიტერიუმი	ქ <sub>2</sub> კრიტერიუმი	ქ <sub>1</sub> კრიტერიუმი	ქ <sub>2</sub> კრიტერიუმი
$t_{ფაქ} = \frac{68,8 - 268,514}{98,91} = -2,02$ ; $t_{ფაქ} = -2,02$ , როდესაც $n=14$ , $a=0,05$ , მაშინ $t_{st}=2,6$ (ცხრ. 16 [22]), რადგან $t_{ფაქ} < t_{st}$ ანუ $-2,02 < 2,6$ , ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დაკვირვებით რიგის ყველა წევრი (მათ შორის, მინიმუმი - 68,8) სარწმუნოა და მკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს		$t_{ფაქ} = \frac{389 - 268,514}{98,91} = -1,22$ ; $t_{ფაქ} = -1,22$ , როდესაც $n=14$ , $a=0,05$ , მაშინ $t_{st}=2,6$ (ცხრ. 16 [22]), რადგან $t_{ფაქ} < t_{st}$ ანუ $-1,22 < 2,6$ , ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დაკვირვებით რიგის ყველა წევრი (მათ შორის, მაქსიმუმი - 389) სარწმუნოა და მკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს		$t_{ფაქ} = \frac{44,8 - 202,5}{78,33} = -2,01$ ; $t_{ფაქ} = -2,01$ , როდესაც $n=14$ , $a=0,05$ , მაშინ $t_{st}=2,6$ (ცხრ. 16 [22]), რადგან $t_{ფაქ} < t_{st}$ ანუ $-2,01 < 2,6$ , ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დაკვირვებით რიგის ყველა წევრი (მათ შორის, მინიმუმი - 44,8) სარწმუნოა და მკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს	
$t_{ფაქ} = \frac{299,8 - 202,6}{78,33} = 1,24$ ; $t_{ფაქ} = 1,24$ , როდესაც $n=14$ , $a=0,05$ , მაშინ $t_{st}=2,6$ (ცხრ. 16 [22]), რადგან $t_{ფაქ} < t_{st}$ ანუ $1,24 < 2,6$ , ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დაკვირვებით რიგის ყველა წევრი (მათ შორის, მაქსიმუმი - 299,8) სარწმუნოა და მკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს		$t_{ფაქ} = \frac{299,8 - 202,6}{78,33} = 1,24$ ; $t_{ფაქ} = 1,24$ , როდესაც $n=14$ , $a=0,05$ , მაშინ $t_{st}=2,6$ (ცხრ. 16 [22]), რადგან $t_{ფაქ} < t_{st}$ ანუ $1,24 < 2,6$ , ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დაკვირვებით რიგის ყველა წევრი (მათ შორის, მაქსიმუმი - 299,8) სარწმუნოა და მკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს		$t_{ფაქ} = \frac{24 - 66,128}{21,88} = -0,82$ ; $t_{ფაქ} = -0,82$ , როდესაც $n=14$ , $a=0,05$ , მაშინ $t_{st}=2,6$ (ცხრ. 16 [22]), რადგან $t_{ფაქ} < t_{st}$ ანუ $-0,82 < 2,6$ , ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დაკვირვებით რიგის ყველა წევრი (მათ შორის, მინიმუმი - 24) სარწმუნოა და მკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს	
$t_{ფაქ} = \frac{92,8 - 66,128}{21,88} = 1,22$ ; $t_{ფაქ} = 1,22$ , როდესაც $n=14$ , $a=0,05$ , მაშინ $t_{st}=2,6$ (ცხრ. 16 [22]), რადგან $t_{ფაქ} < t_{st}$ ანუ $1,22 < 2,6$ , ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დაკვირვებით რიგის ყველა წევრი (მათ შორის, მაქსიმუმი - 92,88) სარწმუნოა და მკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს		$t_{ფაქ} = \frac{92,8 - 66,128}{21,88} = 1,22$ ; $t_{ფაქ} = 1,22$ , როდესაც $n=14$ , $a=0,05$ , მაშინ $t_{st}=2,6$ (ცხრ. 16 [22]), რადგან $t_{ფაქ} < t_{st}$ ანუ $1,22 < 2,6$ , ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დაკვირვებით რიგის ყველა წევრი (მათ შორის, მაქსიმუმი - 92,88) სარწმუნოა და მკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს		$t_{ფაქ} = \frac{92,8 - 66,128}{21,88} = 1,22$ ; $t_{ფაქ} = 1,22$ , როდესაც $n=14$ , $a=0,05$ , მაშინ $t_{st}=2,6$ (ცხრ. 16 [22]), რადგან $t_{ფაქ} < t_{st}$ ანუ $1,22 < 2,6$ , ამიტომ ნულოვანი ჰიპოთეზის თანახმად დაკვირვებით რიგის ყველა წევრი (მათ შორის, მაქსიმუმი - 92,88) სარწმუნოა და მკუთვნის ერთიან გენერალურ რიგს	

### 3.4. მანქანის ზეთსა და თხევად ცხიმზე ჩატარებული ექსპერიმენტული დაკვირვების მონაცემთა სტატისტიკური მახასიათებლების განსაზღვრის ფორმულები

სტატისტიკური ანალიზი ნაშრომში წარმოდგენილია ურთიერთკორელაციის კოეფიციენტის გათვლასა და რეგრესიის განტოლების შედგენაში განსახილველ შემთხვევით სიდიდეთა  $x_i$  და  $y_i$  წყვილების მიხედვით. ზოგადად  $x_i$  და  $y_i$  წყვილთა რიგები ყალიბდება მანქანის ზეთისა და თხევადი ცხიმის ექსპერიმენტულად (ცდისეულად) დაკვირვებულ მონაცემთა მიხედვით (ცხრ. 3.4.) საწყისი მონაცემები: მანქანის ზეთი ( $x$ ), და თხევადი ცხიმი ( $y$ ); საბოლოო მონაცემები: მანქანის ზეთი ( $x$ ) თხევადი ცხიმი ( $y$ ); აღსორბციის ხარისხი მანქანის ზეთი ( $x$ ) თხევადი ცხიმი ( $y$ ); დაკვირვებული  $x_i$  და  $y_i$  სტატისტიკური რიგების მიხედვით, თუჯის ან ფოლადის მილებში მომხდარ დაზიანებათა შესაბამისად და ა.შ.

ურთიერთკორელაციის მნიშვნელობა  $x_i$  და  $y_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) შემთხვევით სიდიდეთა შორის გამოითვლება ფორმულით [23]:

$$r_{x_i - y_i} = \frac{\sum_i x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_i x_i \sum_i y_i}{\sqrt{\left[ \sum_i x_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_i x_i \right)^2 \right] \left[ \sum_i y_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_i y_i \right)^2 \right]}}$$

სადაც  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i x_i$   $x$  რიგის საშუალო არითმეტიკულია;

$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_i y_i$   $y$  რიგის საშუალო არითმეტიკული;

$s_x^2 = \sum_i x_i^2 - (\bar{x})^2$   $x$  რიგის დისპერსია;  $s_y^2 = \sum_i y_i^2 - (\bar{y})^2$   $y$  რიგის

დისპერსია;

აგრეთვე  $a$  და  $b$  რეგრესიის კოეფიციენტებია, რომლებიც მონაწილეობენ  $y = a + bx$  ტიპის წრფივ რეგრესიის განტოლებაში.

რეგრესიის კოეფიციენტი  $b$  გამოითვლება ფორმულით:

$$b = \frac{\sum_i x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_i x_i \sum_i y_i}{\sum_i x_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_i x_i \right)^2}$$

ხოლო რეგრესიის  $a$  კოეფიციენტი კი ფორმულით:

$$a = \frac{1}{n} \left( \sum_i y_i - b \sum_i x_i \right)$$

### 3.5. მანქანის ზეთსა და თხევად ცხიმზე ჩატარებული ექსპერიმენტული დაკვირვების მონაცემთა სტატისტიკური დამუშავება, რეგრესიული მოდელების შედგენა და მიღებული შედეგების ანალიზი

მასალა პერლიტის გამფილტრავი უნარის დასადგენად ჩატარდა ექსპერიმენტული დაკვირვებების სერიები.

საანალიზოდ აღებულ იქნა  $x$ -ის სახით ზეთის შემცველობა %-ში, საწყისი მონაცემები, საწყისი მონაცემები, საბოლოო მონაცემები და  $y$ -ის სახით აღსორბციის ხარისხი %-ში, საბოლოო მონაცემები აღსორბციის ხარისხი, აღსორბციის ხარისხი.  $x$ -ის და  $y$ -ის აღნიშნულ მონაცემებს შორის შესაბამისად 3.4 ქვეთავის ფორმულების გამოყენებით განსაზღვრულ იქნა სტატისტიკური მახასიათებლები:  $a$  და  $b$  – რეგრესიის კოეფიციენტები,  $r$  – ურთიერთკორელაციის კოეფიციენტი,  $\bar{x}$  – ერთი რიგის საშუალო არითმეტიკული,  $\bar{y}$  – მეორე რიგის საშუალო არითმეტიკული, ხოლო  $\sigma_x^2$  და  $\sigma_y^2$  – შესაბამისად საანალიზო რიგების დისპერსიები. მიღებული სტატისტიკური მახასიათებლების მიხედვით აგებულ იქნა წრფივი რეგრესიის  $y = ax + b$  სახის დამოკიდებულებები. ექსპერიმენტებში მანქანის ზეთის გამოყენების შემთხვევაში  $x$  და  $y$  რიგებს შორის განსაზღვრული სტატისტიკური მახასიათებლები და

შედგენილი მოდელები მოყვანილია ცხრ. 3.15-ში. ანალოგიურად ექსპერიმენტებში თხევადი ცხიმის გამოყენების შემთხვევაში  $x$  და  $y$ -ის რიგებს შორის განსაზღვრული სტატისტიკური მახასიათებლები და შედგენილი მოდელები ასახულია ცხრ. 3.16-ში.

სტატისტიკურ ანალიზს დაუქვემდებარეთ მანქანის ზეთის ( $x$ -რიგი) და თხევადი ცხიმის ( $y$ -რიგი) რიგებს შორის სტატისტიკური მახასიათებლების და რეგრესიის მოდელების განსაზღვრა (იხ. ცხრ. 3.17).

მიღებული ურთიერთკორელაციის კოეფიციენტების მნიშვნელობების მიხედვით არ აღმოჩნდა სარწმუნო სტატისტიკური კავშირი ზეთის შემცველობასა და ადსორბციის ხარისხს შორის აღებული %-ში (იხ. ცხრ. 3.15 და 3.16), ამიტომ აქ მიღებული მოდელი  $y=21.01-5.07x$  არასარწმუნოა. სხვა შემთხვევებში როგორც მანქანის ზეთისათვის, ასევე თხევადი ცხიმისათვის საკვლევ პარამეტრებს შორის აღინიშნა მაღალი კორელაციური კავშირები არანაკლებ  $r=0.9$ , რაც შედგენილი მოდელების მაღალსარწმუნოებაზე მიგვანიშნებს.

გარკვეულ ინტერესს შეადგენდა მანქანის ზეთსა და თხევად ცხიმზე ჩატარებული ექსპერიმენტული დაკვირვების  $x$  და  $y$  რიგებს შორის კორელაციური დამოკიდებულების გამოკვლევა, რომელმაც არანაკლები  $r = 0.95$  შეადგინა, რაც შედგენილი მოდელების ასევე მაღალსარწმუნოებაზე მიგვანიშნებს (იხ. ცხრ. 3.17).

შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულებების ფარდობითი ცდომილება გამოითვლება ფორმულით:

$$\Delta = \left| \frac{y^* - y_{\text{ფაქტ}}}{y_{\text{ფაქტ}}} \right|, \quad (3.5)$$

სადაც  $y^*$  საპროგნოზო პარამეტრია,  $y_{\text{ფაქტ}}$  – პარამეტრის ფაქტიური დაკვირვებული სიდიდე.

მანქანის ზეთის საწყისი ექსპერიმენტული მონაცემებს და ადსორბციის ხარისხის მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების ( $y^* = 6,378 + 0,191x$ ) ფარდობითი ცდომილებების

მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრ. 3.18 – ში, ხოლო მოდელის გრაფიკული სახე ნახ. 3.2-ზე.

მანქანის ზეთის საწყისი ექსპერიმენტული მონაცემებისა და მანქანის ზეთის საბოლოო მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების ( $Y^* = - 6.407 + 0.81x$ ) ფარდობითი ცდომილებების განსაზღვრა მოყვანილია ცხრ. 3.19-ში, ხოლო მოდელის გრაფიკული სახე ნახ. 3.3-ზე.

მანქანის ზეთის საბოლოო ექსპერიმენტული მონაცემებისა და აღსორბციის ხარისხის მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების ( $y^* = 10,202 + 0,226x$ ) ფარდობითი ცდომილებების განსაზღვრა მოყვანილია ცხრ. 3.20-ში, ხოლო მოდელის გრაფიკული სახე ნახ. 3.4-ზე.

მანქანის ზეთის შემცველობა %-ში და აღსორბციის ხარისხი %-ში მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების ( $y^* = 21,01 + 5,057x$ ) ფარდობითი ცდომილების განსაზღვრა მოცემულია ცხრ. 3.21-ში.

თხევადი ცხიმის შემცველობა %-ში და აღსორბციის ხარისხი %-ში მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების ( $y^* = 25,596 + 0,063x$ ) ფარდობითი ცდომილებების განსაზღვრა მოყვანილია ცხრ. 3.22-ში.

თხევადი ცხიმის საწყისი ექსპერიმენტული მონაცემების და აღსორბციის ხარისხის მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების

( $y^* = 8,93 + 0,213x$ ) ფარდობითი ცდომილების განსაზღვრა მოყვანილია ცხრ. 3.23-ში, ხოლო მოდელის გრაფიკული სახე ნახ. 3.5-ზე.

თხევადი ცხიმის საწყისი ექსპერიმენტული მონაცემების და თხევადი ცხიმის საბოლოო ექსპერიმენტული მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების ( $y^* = -10,891 + 0,84x$ ) ფარდობითი ცდომილების განსაზღვრა მოყვანილია ცხრ. 3.24-ში.

თხევადი ცხიმის საბოლოო ექსპერიმენტული და აღსორბციის ხარისხის მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების ( $y^* = 12.895 + 0.263x$ ) ფარდობითი ცდომილების განსაზღვრა მოყვანილია ცხრ. 3.25-ში, ხოლო მოდელის გრაფიკული სახე ნახ 3.6-ზე.

მანქანის ზეთის საწყის ექსპერიმენტულ მონაცემებსა და თხევადი ცხიმის საწყის მონაცემებს შორის სტატისტიკური დამოკიდებულების ( $y^* = -20.118 + 0.967x$ ) ფარდობითი ცდომილების განსაზღვრა მოყვანილია ცხრ. 3.26-ში.

მანქანის ზეთის საბოლოო ექსპერიმენტულ მონაცემებსა და თხევადი ცხიმის საბოლოო მონაცემებს შორის სტატისტიკური დამოკიდებულების ( $y^* = -16.972 + 0.932x$ ) ფარდობითი ცდომილებების განსაზღვრა მოყვანილია ცხრილში 3.27.

მანქანის ზეთის აღსორბციის ხარისხის ექსპერიმენტული მონაცემებისა და თხევადი ცხიმის აღსორბციის ხარისხის მონაცემებს შორის სტატისტიკური დამოკიდებულების ( $y^* = 2.35 + 1.006x$ ) ფარდობითი ცდომილებების განსაზღვრა მოყვანილია ცხრილში 3.28-ში.

მოყვანილი სტატისტიკური მოდელები მაღალსარწმუნოა და მათი ფარდობითი ცდომილებები თავსდება 1-ის ფარგლებში გარდა 3.21 და 3.22-ში მოყვანილი რეგრესიის მოდელებისა  $y^* = 21.01 + 5.057x$  და  $y^* = 25.596 - 0.063x$ , რაც აგრეთვე დასაბუთდა ურთიერთკორელაციის კოეფიციენტების მნიშვნელობით შესაბამისად  $r = -0.2$ ,  $r = -0.133$

ექსპერიმენტებში მანქანის ზეთის გამოყენების შემთხვევაში  
 x და y რიგებს შორის განსაზღვრული სტატისტიკური მახასიათებლები  
 და შედგენილი მოდელები

ცხრილი 3.15

№	X	Y	სტატისტიკური მახასიათებლები							შედგენილი მოდელები
			a	b	r	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$\sigma^2_x$	$\sigma^2_y$	
1	ზეთის შემცველობა %-ში	აღსორბციის ხარისხი %-ში	11.01	- 5.057	- 0.2	10.328	20.419	57.62	5.72	$Y = 21.01 - 5.057x$
2	საწვიის მონაცემები	საბოლოო მონაცემები	- 6.407	0.81	0.996	229.09	235.657	10203.53	6736.98	$Y = - 6.407 + 0.81x$
3	საწვიის მონაცემები	აღსორბციის ხარისხი	6.378	0.191	0.935	229.09	63.428	10203.53	424.816	$Y = 6.378 + 0.191x$
4	საბოლოო მონაცემები	აღსორბციის ხარისხი	10.202	0.226	0.899	235.657	63.428	6736.98	424.816	$Y = 10.202 + 0.226x$

ექსპერიმენტებში თხევადი ცხიმის გამოყენების შემთხვევაში  
 x და y რიგებს შორის განსაზღვრული სტატისტიკური მახასიათებლები  
 და შედგენილი მოდელები

ცხრილი 3.16

№	X	Y	სტატისტიკური მახასიათებლები						შედგენილი მოდელები	
			a	b	r	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$\sigma^2_x$		$\sigma^2_y$
1	ცხიმის შემცველობა %-ში	აღსორბციის ხარისხი %-ში	25.596	-0.063	-0.133	10.471	24.936	58.082	13.125	$Y = 25.596 - 0.063x$
2	საწყის მონაცემები	საბოლოო მონაცემები	-10.891	0.84	0.933	254.228	202.6	7571.677	6135.645	$Y = -10.891 + 0.84x$
3	საწყის მონაცემები	აღსორბციის ხარისხი	8.93	0.213	0.963	268.514	66.128	9783.917	478.969	$Y = 8.93 + 0.213x$
4	საბოლოო მონაცემები	აღსორბციის ხარისხი	12.895	0.263	0.946	209.08	67.85	6314.468	448.685	$Y = 12.895 + 0.263x$

მანქანის ზეთისა და თხევადი ცხიმის x და y რიგებს  
 შორის სტატისტიკური მახასიათებლებისა და რეგრესიის  
 მოდელების განსაზღვრა

ცხრილი 3.17

№	X	Y	სტატისტიკური მახასიათებლები						შეგენილი მოდელები	
			a	b	r	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$\sigma^2_x$		$\sigma^2_y$
1	საწყისი მანქანის ზეთი	საწყისი თხევადი ცხიმი	-20.118	0.967	0.989	298.377	268.514	10219.147	9783.917	$Y = -20.118 + 0.967x$
2	საბოლოო მანქანის ზეთი	საბოლოო თხევადი ცხიმი	-16.972	0.932	0.976	235.657	202.6	6736.981	6135.645	$Y = -16.972 + 0.932x$
3	აღსორბციის ხარისხი. მანქანის ზეთი	აღსორბციის ხარისხი. თხევადი ცხიმი	2.35	1.006	0.947	63.428	66.128	424.816	478.969	$Y = 2.35 + 1.006x$

მანქანის ზეთის საწვისი ექსპერიმენტული მონაცემების და აღსორბციის ხარისხის მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების ( $Y^* = 6.378 + 0.191X$ ) ფარდობითი ცოშილებების განსაზღვრა

ცხრილი 3.18

ექსპერიმენტული ნომერი	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
შესადარებელი მონაცემები														
მანქანის ზეთის საწვისი მონაცემები X	84.8	164.88	204.8	188.8	276.8	292.8	300.8	324.8	332.8	372.8	420.8	404.8	412.8	404.8
აღსორბციის ხარისხი Y-ში	22.57	37.87	45.49	42.43	59.24	62.30	63.83	68.41	69.94	77.58	86.75	83.69	85.22	83.69
ფარდობითი ცოშილება Δ	0.73	0.77	0.77	0.77	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79

მანქანის ზეთის საწყისი კქსპერიმენტული მონაცემების და მანქანის ზეთის საბოლოო მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების ( $Y^* = -6.407 + 0.81X$ ) ფარდობითი ცთომილების განსაზღვრა

ცხრილი 3.19

ექსპერიმენტული ნიმუში	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
შესადარებელი მონაცემები														
მანქანის ზეთის საწყისი მონაცემები X	84.8	164.88	204.8	188.8	276.8	292.8	300.8	324.8	332.8	372.8	420.8	404.8	412.8	404.8
მანქანის ზეთის საბოლოო მონაცემები – Y	62.28	127.14	159.48	196.52	217.79	230.76	237.24	256.68	263.16	295.56	334.44	321.48	327.96	321.48
ფარდობითი ცდომილება Δ	0.26	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

მანქანის ზეთის საბოლოო ექსპერიმენტული მონაცემებისა და აღსორბციის ხარისხის მონაცემებს შორის სტატისტიკური და-  
 მოკიდებულების ( $Y^*=10.202+0.226X$ ) ფარდობითი ცდომილების განსაზღვრა  
 ცხრილი 3.20

ექსპერიმენტული ნომერი	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
შესადარებელი მონაცემები	68.8	132.8	156.8	132.8	220.8	228.8	244.8	252.8	252.8	292.8	324.8	324.8	340.8	324.8
მანქანის ზეთის საბოლოო მონაცემები X	25.75	40.21	45.63	40.21	60.10	61.19	65.52	67.33	67.33	76.37	83.60	83.60	87.22	83.60
აღსორბციის ხარისხი Y	0.62	0.69	0.70	0.69	0.72	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.74	0.74	0.74	0.74
ფარდობითი ცდომილება Δ														

მანქანის ზეთის შემცველობა %-ებში და აღსორბციის ხარისხის %-ებში მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების ( $Y^* = 21,01 - 5,057X$ ) ფარდობითი ცოშილებების განსაზღვრა

ცხრილი 3.21

ექსპერიმენტული ნომერი	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
შესადარებელი მონაცემები														
მანქანის ზეთის შემცველობა %-ებში X	0.1	0.5	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
აღსორბციის ხარისხი % - ში Y	20.51	18.49	15.95	5.84	- 4.27	- 14.38	24.5	- 34.61	- 44.73	-54.84	-64.95	-75.07	-85.18	-95.3
ფარდობითი ცდომილება Δ	204.1	35.98	14.95	0.94	0.146	1.05	1.72	2.14	2.44	2.65	2.82	2.95	3.05	3.14

თხევადი ცხიმის შემცველობა %-ში და ადსორბციის ხარისხი %-ებში მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების ( $Y^* = 25,536 - 0,063X$ ) ფარდობითი ცთომილებების განსაზღვრა

ცხრილი 3.22

ექსპერიმენტული ნიმუში	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
შესადარებელი მონაცემები														
თხევადი ცხიმის შემცველობა %-ებში X	0.1	0.5	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
ადსორბციის ხარისხი %-ში Y	25.58	25.56	25.53	25.407	25.28	25.15	25.02	24.903	24.77	24.65	24.52	24.39	24.27	24.14
ფარდობითი ცდომილება Δ	254.8	50.12	24.53	7.469	4.056	2.59	1.78	1.26	0.905	0.64	0.44	0.28	0.15	0.04

თხევადი ცხიმის საწყისი ექსპერიმენტული მონაცემების და აღსორბციის ხარისხის მონაცემებს შორის უდგენილი  
 სტატისტიკური დამოკიდებულების (Y\*= 8,93+0,213X) ფარდობითი ცთომილების განსაზღვრა

ცხრილი 3.23

ექსპერიმენტული ნომერი	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
შესადარებელი მონაცემები														
თხევადი ცხიმის საწყისი მონაცემები X	68.8	132.8	196.8	164.8	244.8	260.8	244.8	260.8	292.8	360.8	388.8	388.8	380.8	372.8
აღსორბციის ხარისხი Y	23.58	37.21	50.84	44.03	61.07	64.48	61.07	64.48	71.29	85.78	91.74	91.74	90.04	88.33
ფარდობითი ცდომილება Δ	0.65	0.71	0.74	0.73	0.75	0.75	0.75	0.75	0.905	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76

თხევადი ცხიმის საწვის ექსპერიმენტულ მონაცემებსა და თხევადი ცხიმის საბოლოო ექსპერიმენტულ მონაცემებს შორის  
 შედარებითი სტატისტიკური დამოკიდებულების ( $\chi^2=10,891+0,84X$ ) ფარდობითი ცთომილების განსაზღვრა  
 ცხრილი 3.24

ექსპერიმენტული ნომერი	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
შესადარებელი მონაცემები	68.8	132.8	196.8	164.8	244.8	260.8	244.8	260.8	292.8	360.8	388.8	388.8	380.8	372.8
თხევადი ცხიმის საწვის მონაცემები X	46.90	100.6	154.42	127.54	194.74	208.18	194.74	208.18	235.06	292.18	315.70	315.70	308.98	302.26
ფარდობითი ცდომილება $\Delta$	0.31	0.24	0.21	0.22	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18

თხევადი ცხიმის საბოლოო ექსპერიმენტული მონაცემების და აღსორბციის ხარისხის მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების ( $Y^*=12,895+0,263X$ ) ფარდობითი ცთომილების განსაზღვრა

ცხრილი 3.25

ექსპერიმენტული ნომერი	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
შესადარებელი მონაცემები	44.8	100.8	156.8	116.8	187.8	196.8	176.8	185.6	212.8	275.2	296.8	299.8	292.8	292.8
მანქანის ზეთის საბოლოო მონაცემები X	24.67	39.40	54.13	43.61	62.28	64.65	59.39	61.70	68.86	85.27	90.95	91.74	89.90	89.90
აღსორბციის ხარისხი Y	0.44	0.60	0.65	0.62	0.66	0.67	0.66	0.66	0.67	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69
ფარდობითი ცთომილება $\Delta$														

მანქანის ზეთის საწვისი ექსპერიმენტული მონაცემების და თხევადი ცხიმის საწვის ექსპერიმენტულ მონაცემებს შორის  
შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების (Y\*=-20,118+0,967X) ფარდობითი ცთომილებების განსაზღვრა  
ცხრილი 3.26

ექსპერიმენტული ნომერი	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
შესადარებელი მონაცემები														
მანქანის ზეთის საწვისი მონაცემები X	84.8	164.88	204.8	188.8	276.8	292.8	300.8	324.8	332.8	272.8	420.8	404.8	412.8	404.8
თხევადი ცხიმის საწვისი მონაცემები Y	61.88	139.32	177.92	162.45	247.54	263.01	270.75	293.96	301.69	340.37	386.79	371.32	379.05	371.32
ფარდობითი ცდომილება Δ	0.27	0.15	0.13	0.13	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08

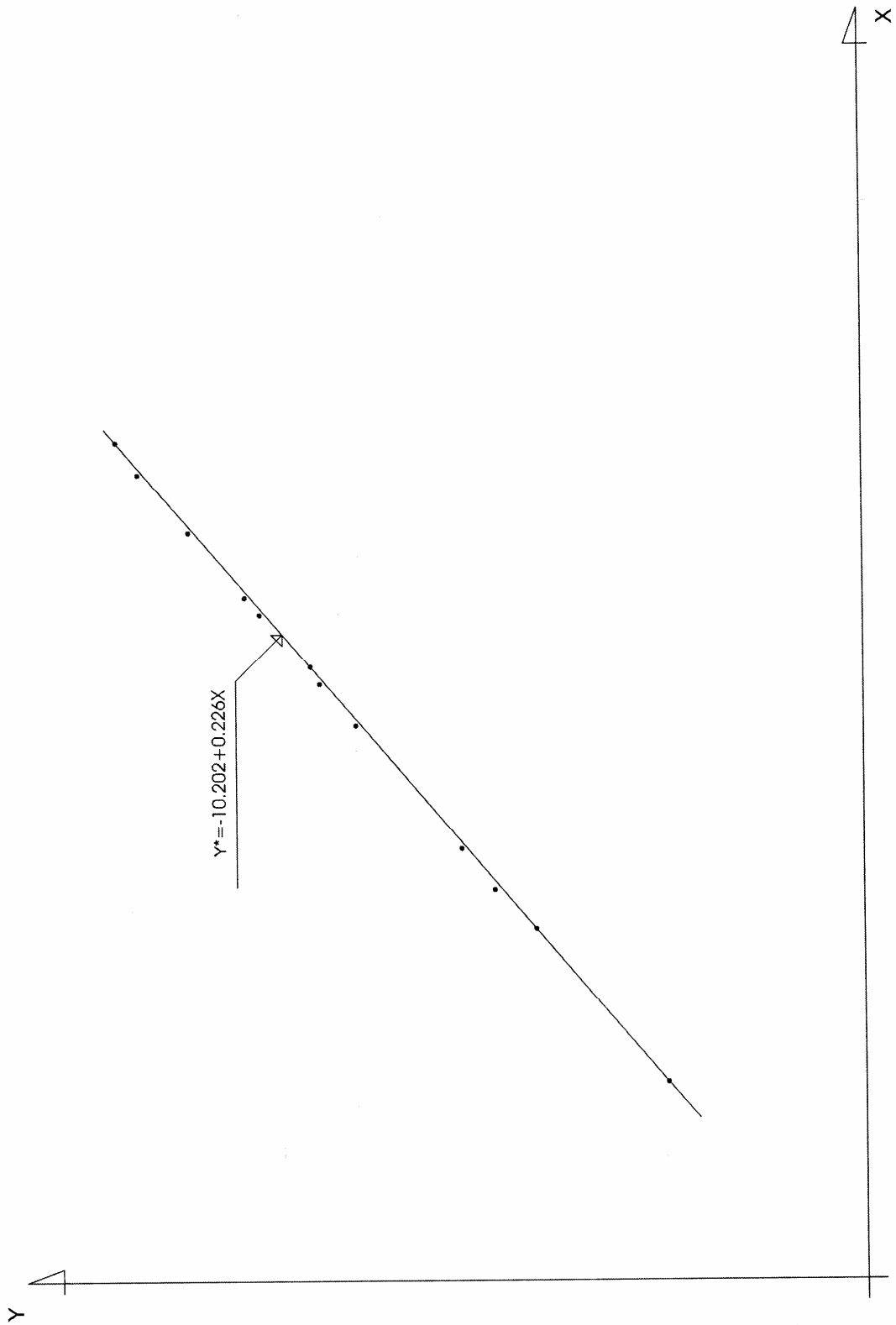
მანქანის ზეთის საბოლოო ექსპერიმენტული მონაცემების და თხევადი ცხიმის საბოლოო ექსპერიმენტულ მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების ( $Y^* = -16,972 + 0,932X$ ) ფარდობითი ცოიმოილების განსაზღვრა ცხრილი 3.27

ექსპერიმენტული ნომერი	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
შესადარებელი მონაცემები														
მანქანის ზეთის საბოლოო მონაცემები - X	68.8	132.8	156.8	132.8	220.8	228.8	244.8	252.8	252.8	292.8	324.8	234.8	340.8	324.8
თხევადი ცხიმის საბოლოო მონაცემები - Y	47.14	106.79	129.16	106.79	188.81	196.26	211.18	218.63	218.63	255.91	285.74	285.74	300.65	285.74
ფარდობითი ცდომილება $\Delta$	0.31	0.19	0.17	0.19	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.12

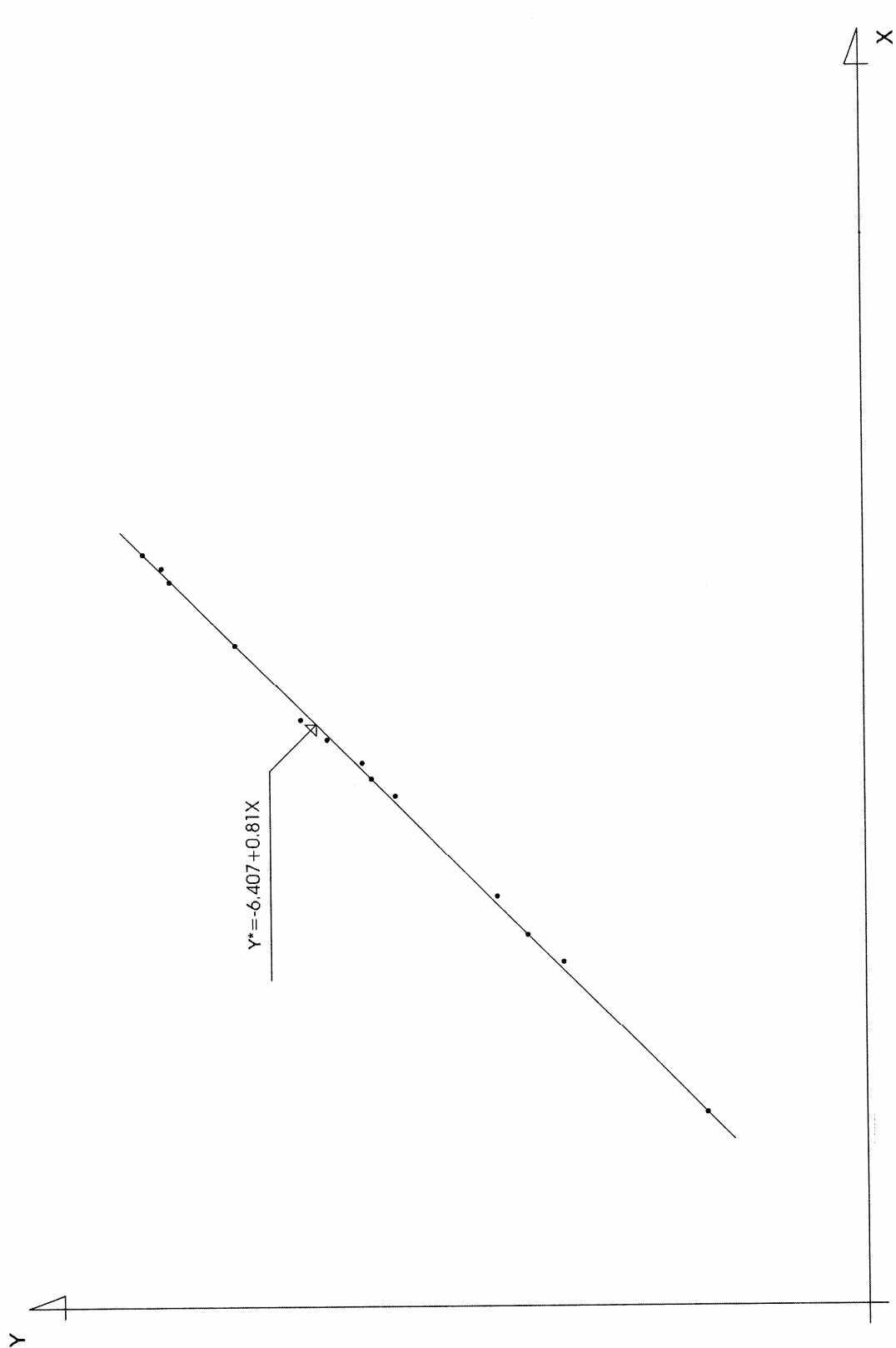
მანქანის ზეთის აღსორბციის ხარისხის ექსპერიმენტული მონაცემების და თხევადი ცხიმის აღსორბციის ხარისხის ექსპერიმენტულ მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების (Y\*=2,35+1,006X) ფარდობითი ცთომილების განსაზღვრა

(კხრილი 3.28

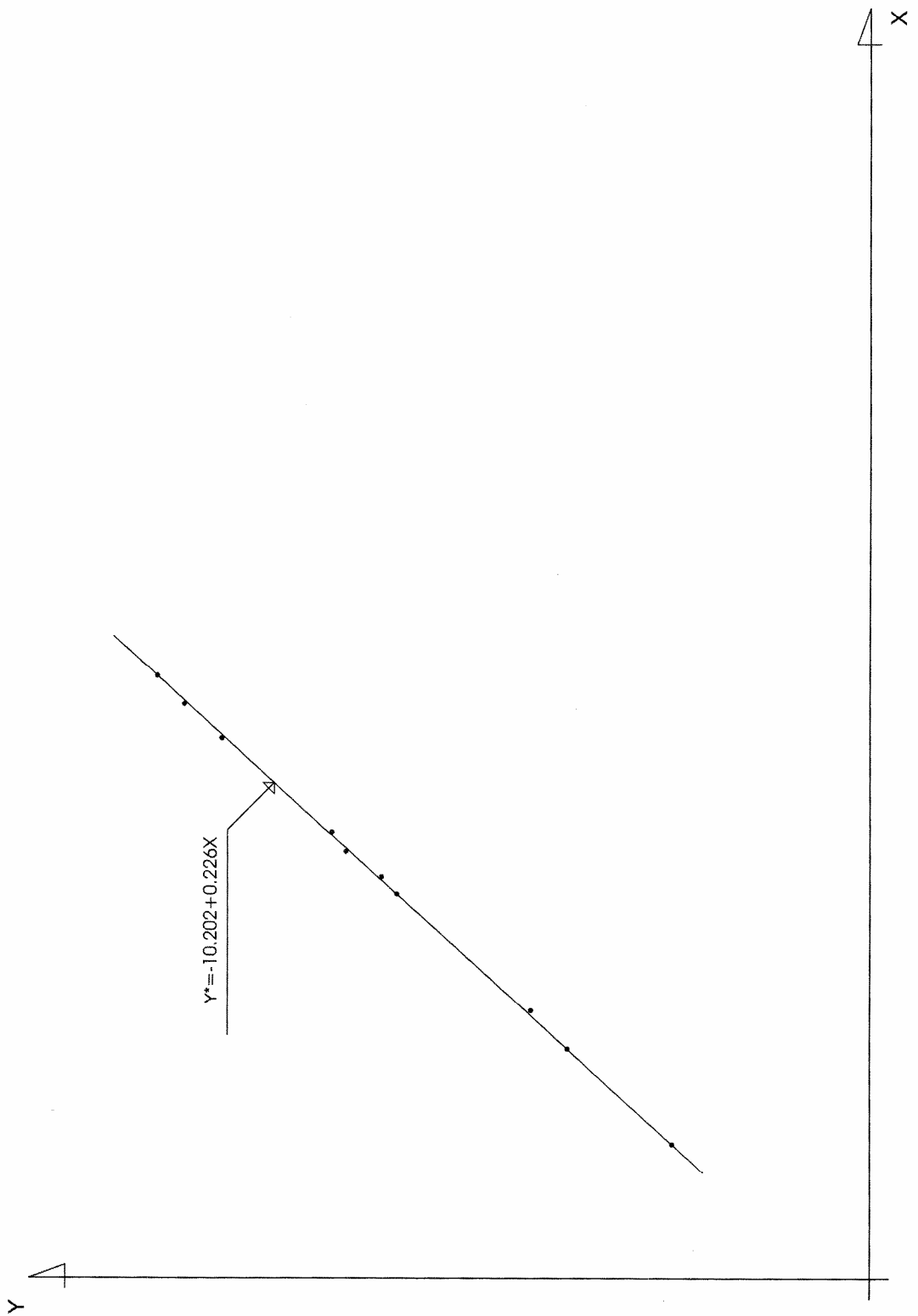
ექსპერიმენტული ნომერი	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
შესადარებელი მონაცემები														
მანქანის ზეთის აღსორბციის ხარისხი X	16	32	48	56	56	64	56	71	80	80	96	80	72	80
თხევადი ცხიმის აღსორბციის ხარისხი Y	18.44	34.54	50.63	58.68	58.68	66.73	58.68	74.78	82.83	82.83	98.92	82.83	74.78	82.83
ფარდობითი ცდომილება Δ	0.15	0.07	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03



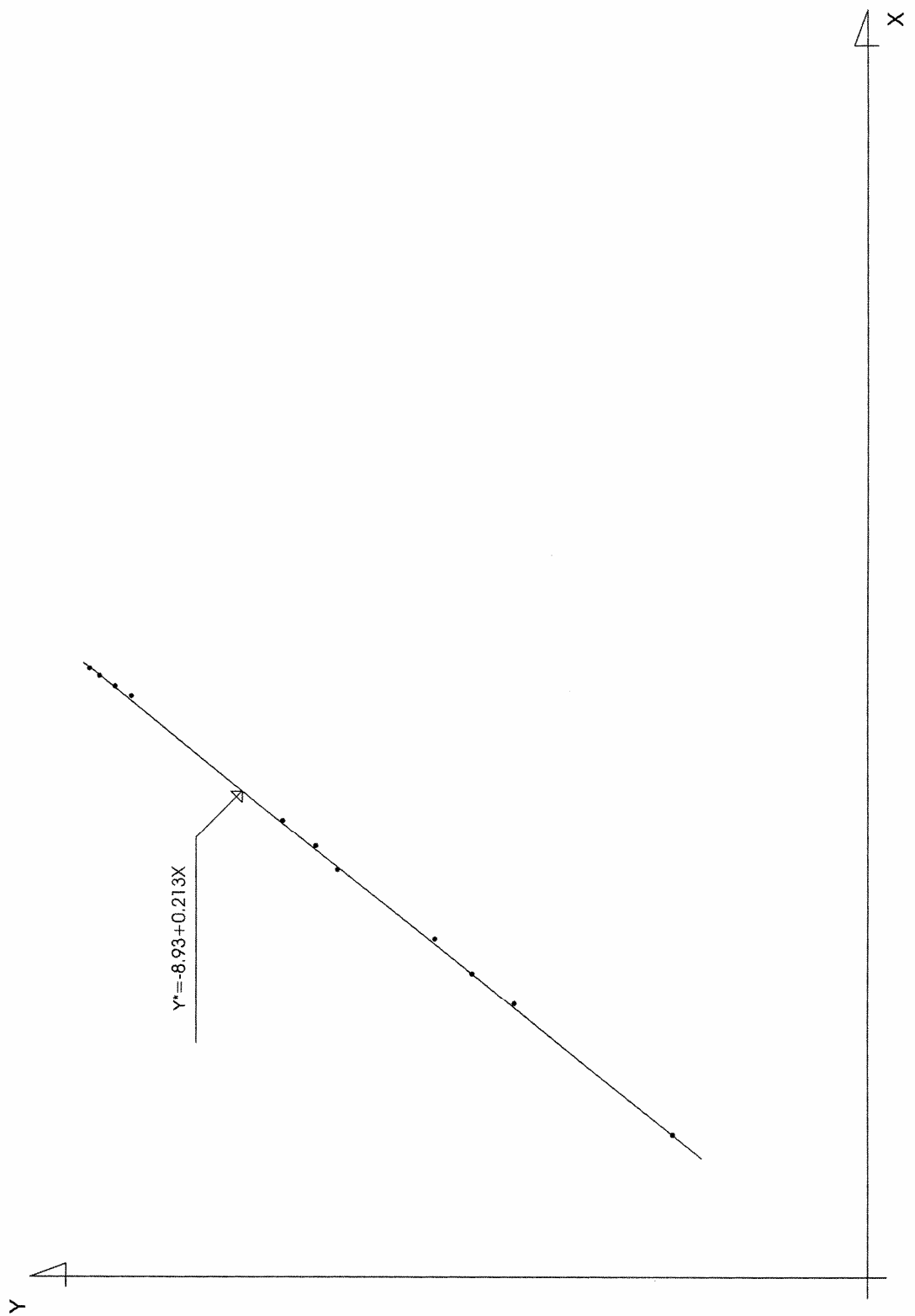
ნახ. 3.1. მანქანის ზეთის საწყის ექსპერიმენტულ მონაცემებსა და აღსორბციის ხარისხის მონაცემებს შორის სტატისტიკური დამოკიდებულების გრაფიკული ასახვა



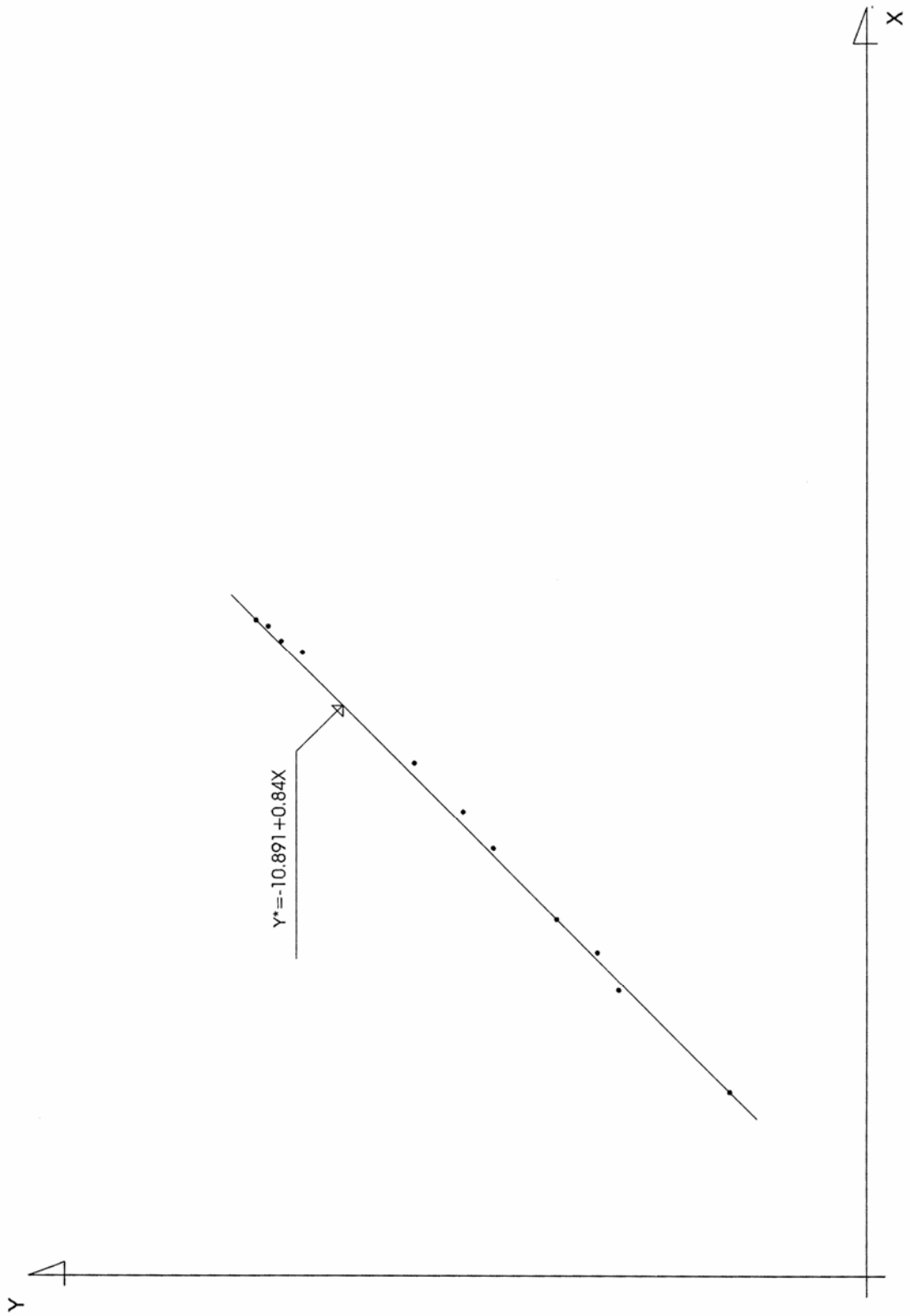
ნახ. 32. მანქანის ზეთის საწყის და საბოლოო ექსპერიმენტულ მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების გრაფიკული ასახვა



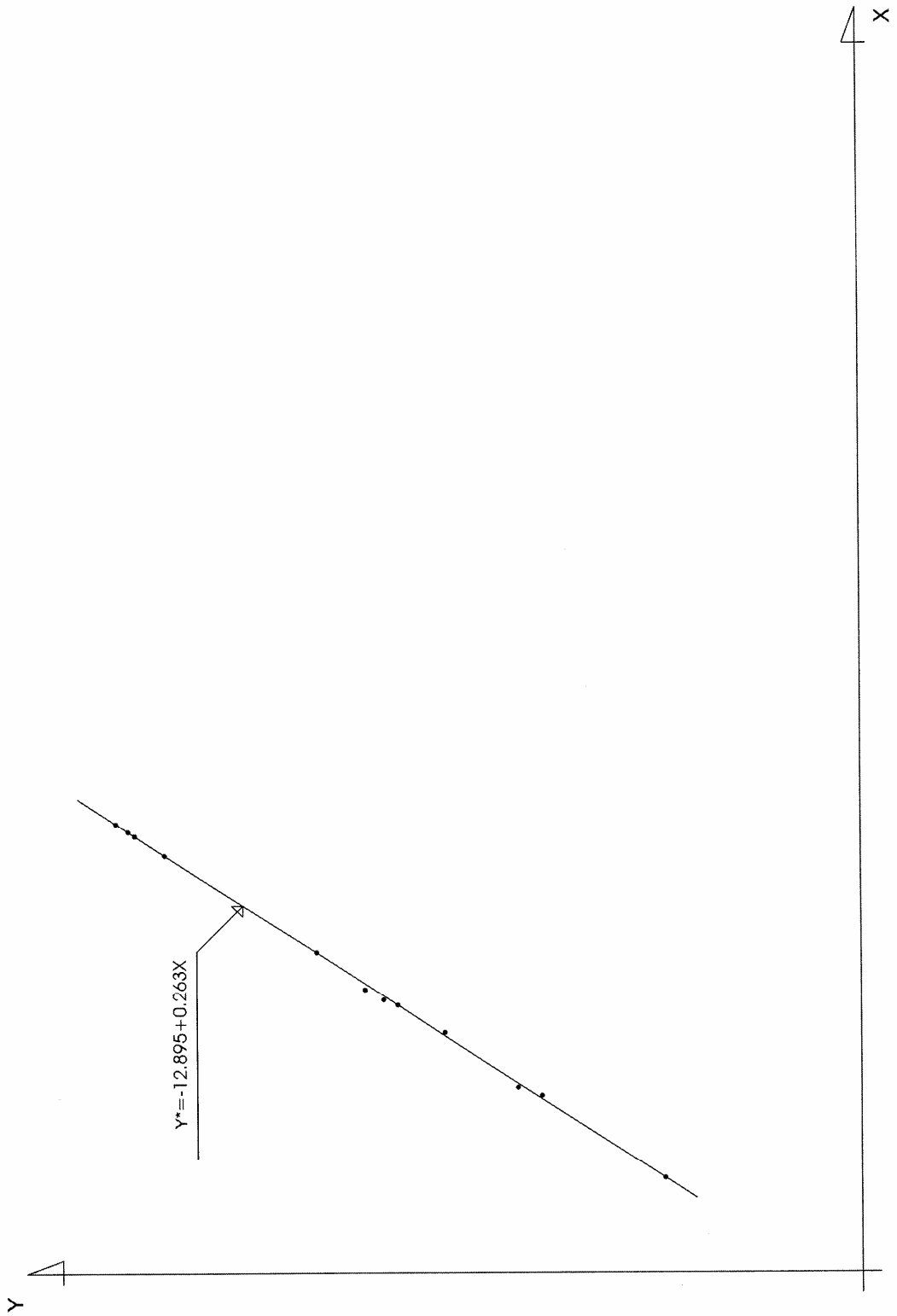
ნახ. 3.3. მანქანის ზეთის საბოლოო ექსპერიმენტულ მონაცემებსა და ადსორბციის ხარისხის მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების გრაფიკული ასახვა



ნახ. 3.4. თხევადი ცხიმის საწყის ექსპერიმენტულ მონაცემებსა და ადსორბციის ხარისხის მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების გრაფიკული ასახვა



ნახ. 3.5. თხევადი ცხიმის საწყის და საბოლოო ექსპერიმენტულ მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების გრაფიკული ასახვა



ნახ. 3.6. თხევადი ცხიმის საბოლოო ექსპერიმენტულ მონაცემებსა და ადსორბციის ხარისხის მონაცემებს შორის შედგენილი სტატისტიკური დამოკიდებულების გრაფიკული ასახვა

### 3.6. მანქანის ზეთისა და თხევადი ცხიმის ექსპერიმენტულად დაკვირვებულ მონაცემთა შესადარებელი ამონაკრებების შემოწმება ნორმალურ განაწილებაზე

მანქანის ზეთისა და თხევადი ცხიმის ექსპერიმენტულად დაკვირვებულ მონაცემთა საანალიზო საწყისი რიგები მოყვანილია ცხრ. 3.9-ში, ხოლო ამ მონაცემთა მიხედვით შედგენილი რანჟირებული რიგები – ცხრ. 3.10-ში. ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა მოცულობა არ აღემატება 14-ს ( $n=14$ ), ამიტომ ამ მონაცემების საფუძველზე შესაძლებელია მხოლოდ ნორმალური განაწილების კანონის დაშვების ჰიპოთეზის შემოწმება არაპარამეტრული სტატისტიკის კრიტერიუმის გამოყენებით.

აღნიშნული დაშვების შემოწმება შესაძლებელია ვან-დერ-ვარდენის X კრიტერიუმის გამოყენებით. ეს კრიტერიუმი მიეკუთვნება რანგული კრიტერიუმების ჯგუფს და მას იყენებენ ნულოვანი ჰიპოტეზის შესამოწმებლად შესადარებელ ამონაკრებთა რიგების ანალიზის საფუძველზე [68]. ვან-დერ-ვარდენის X კრიტერიუმის მიხედვით გაანგარიშების პროცედურა მდგომარეობს შემდეგში:

- შესადარებელ  $n_1$  და  $n_2$  მოცულობის ამონაკრებთა რიგები ლაგდება ზრდის მიხედვით საერთო რანჟირებულ  $N=(n_1+n_2)$  რიგში;
- შემდეგ რანჟირებული  $N$  რიგის თითოეულ წევრს მიანიჭებენ რიგით ნომერს ანუ  $R$  რანგს;
- ერთ-ერთი ამონაკრების შესადარებელი რიგის მონაცემების მიხედვით განისაზღვრება  $R/(N+1)$ , სადაც  $(N+1)=n_1+n_2+1$ ;
- $R/(N+1)$  მნიშვნელობების მიხედვით (ვთქვათ  $1$ -ცალი ამონაკრების მიხედვით) [68] IX ცხრილის დანართის მიხედვით განისაზღვრება  $\Psi[R/(N+1)]$  ფუნქციის მნიშვნელობები თითოეული  $R/(N+1)$ ;
- შემდეგში მიიღება  $X_{გაქტ} = \sum \Psi[R/(N+1)]$ , რომელიც შედარებულ იქნება ვან-დერ-ვარდენის  $X_{სტ}$  კრიტერიუმის ცხრილურ მნიშვნელობასთან [1, დანართი ცხრილი X]. ამასთან ცხრილი დაგრაფირებულია 5%-იანი და 1%-იანი სტატისტიკური სარწმუნოების დონის შესაბამისად.
- ნულოვანი ჰიპოთეზა ან  $X_{გაქტ} \leq X_{სტ}$ , დამაკმაყოფილებელია მაშინ როდესაც შესადარებელი ამონაკრებების რიგები მიეკუთვნებიან საერთო

გენერალურ დაჯგუფებას ერთნაირი ნორმალური განაწილების კანონით. სხვა შემთხვევაში ნულოვანი ჰიპოტეზა უკუგდებულ იქნება.

გაანგარიშების პროცედურა და შედეგი თხევად ცხიმზე ექსპერიმენტულად დაკვირვებულ მონაცემთა შესადარებელი ამონაკრებების შემოწმებაზე ნორმალური განაწილების ჰიპოთეზაზე ვან-დერ-ვარდენის  $\chi$  არა-პარამეტრული რანგული კრიტერიუმის საფუძველზე მოყვანილია ცხრ. **A**.

**აქ**

$$\sum \Psi [R/(N+1)] = X_{ფაქტ} = 3.47 < X_{სტ} = 4.68.$$

მიღებული შედეგი ასე განისაზღვრება: თხევადი ცხიმის ექსპერიმენტულად დაკვირვებულ მონაცემთა შესადარებელი ამონაკრებების რიგები (საწყისი (გაფილტვრამდე) და საბოლოო (გაფილტვრის შემდეგ)) მიეკუთვნებიან ერთიან გენერალურ რიგს სტატისტიკური სარწმუნოებით  $\alpha=5\%$ , ცენტრალური თეორემის თანახმად მიახლოებით ნორმალური განაწილების კანონს შეესაბამება.

ანალოგიურად იგივე შეიძლება ითქვას მანქანის ზეთზეც და (ცხრ. **B**), სადაც  $\sum \Psi [R/(N+1)] = X_{ფაქტ} = 4.5 < X_{სტ} = 4.6$ . ანუ მანქანის ზეთის ექსპერიმენტულად დაკვირვებულ მონაცემთა შესადარებელი ამონაკრებების რიგები (საწყისი (გაფილტვრამდე) და საბოლოო (გაფილტვრის შემდეგ)) მიეკუთვნებიან ერთიან გენერალურ რიგს სტატისტიკური სარწმუნოებით  $\alpha=5\%$ , რომელიც ზღვრული ცენტრალური თეორემის თანახმად მიახლოებით ნორმალური განაწილების კანონს შეესაბამება.

თხევად ცხიმზე ექსპერიმენტულად დაკვირვებულ მონაცემთა შესაღარიგებელი ამონაკრებების შემოწმება ნორ-  
მალური განაწილების ჰიპოთეზის ვან-დერ-ვარდენის X კრიტერიუმის საფუძველზე

ცხრილი 3.29

№	თხევად ცხიმზე დაკვირვებათა ამონაკრებები		თხევადი ცხიმი საწვისი (გაფილტვრამდე) რიგი მგ/ლ	თხევადი ცხიმი საწვისი (გაფილტვრამდე) მგ/ლ	თხევადი ცხიმი საბოლოო (გაფილტვრის შემდეგ) მგ/ლ	ერთიანი რანჟირებული ზრდადი რიგი	რანგის ნომერი R	$\frac{R}{N+1}$	$\Psi\left(\frac{R}{N+1}\right)$
	თხევადი ცხიმი საწვისი (გაფილტვრამდე) რიგი მგ/ლ	თხევადი ცხიმი საბოლოო (გაფილტვრის შემდეგ) მგ/ლ							
1	68.8	44.8	44.8	68.8	44.8	1			
2	132.8	100.8	100.8	68.8	68.8	2	2/29=0.069	- 1.48	
3	164.8	116.8	116.8		100.8	3			
4	196.8	156.8	156.8		116.8	4			
5	244.8	176.8	176.8	132.8	132.8	5	5/29=0.172	- 0.95	
6	244.8	185.8	185.8		156.8	6			
7	260.8	187.6	187.6	164.8	164.8	7	7/29=0.241	- 0.70	
8	260.8	212.8	212.8		176.8	8			
9	292.8	275.2	275.2		185.8	9			
10	360.8	292.8	292.8		187.6	10			
11	372.8	292.8	292.8	196.8	196.8	11	11/29=0.379	- 0.31	
12	380.8	292.8	292.8		212.8	12			
13	388.8	296.8	296.8	244.8	244.8	13	13/29=0.448	- 0.13	
14	389.0	299.8	299.8	244.8	244.8	14	14/29=0.483	-0.04	
15	-	-	-	260.8	260.8	15	15/29=0.517	0.04	

16	-	-	260.8		260.8	16	16/29=0.552	0.13
17	-	-		275.2	275.2	17		
18	-	-	292.8		292.8	18	18/29=0.621	0.31
19	-	-		292.8	292.8	19		
20	-	-		292.8	292.8	20		
21	-	-		292.8	292.8	21		
22				296.8	296.8	22		
23				299.8	299.8	23		
24			360.8		360.8	24	24/29=0.827	0.94
25			372.8		372.8	25	25/29=0.862	1.09
26			380.8		380.8	26	26/29=0.896	1.26
27			388.8		388.8	27	27/29=0.931	1.48
28			389.0		389.0	28	28/29=0.966	1.83
29	n <sub>1</sub> =14	n <sub>2</sub> =14			N= n <sub>1</sub> + n <sub>2</sub>	R		$\sum \Psi = 3,47$

მანქანის ზეთზე ექსპერიმენტულად დაკვირვებულ მონაცემთა შესადარებელი ამონაკრებების შემოწმება  
 ნორმალური განაწილების ჰიპოთეზაზე ვან-დერ-ვარდენის X კრიტერიუმის საფუძველზე

ცხრილი 3.30

№	მანქანის ზეთზე დაკვირვებათა ამონაკრებები		მანქანის ზეთი (გაფილტვრამდე) მგ/ლ	მანქანის ზეთი (გაფილტვრის შემდეგ) მგ/ლ	მანქანის ზეთი (გაფილტვრის შემდეგ) მგ/ლ	ერთიანი რანჟირებული ზრდადი რიგი	რანგის ნომერი R	$\frac{R}{N+1}$	$\Psi\left(\frac{R}{N+1}\right)$
	მანქანის ზეთი საბოლოო, გაფილტვრამდე რიგი მგ/ლ	მანქანის ზეთი (გაფილტვრის შემდეგ) მგ/ლ							
1	84.8	68.8	68.8	68.8	68.8	1			
2	164.88	132.8	84.8	84.8	84.8	2	$2/29=0.069$	- 1.48	
3	188.8	132.8			132.8	3			
4	204.8	156.8			132.8	4			
5	276.8	220.8			156.8	5			
6	292.8	228.8	164.9	164.9	164.9	6	$6/29=0.207$	-0.82	
7	300.8	244.8	188.8	188.8	188.8	7	$7/29=0.241$	- 0.70	
8	324.8	252.8	204.8	204.8	204.8	8	$8/29=0.276$	-0.60	
9	332.8	252.8			220.8	9			
10	372.8	292.8			228.8	10			
11	404.8	324.8			244.8	11			
12	404.8	324.8			252.8	12			
13	412.8	324.8			252.8	13			
14	420.8	340.8		276.8	276.8	14	$14/29=0.483$	-0.04	
15	-	-		292.8	292.8	15	$15/29=0.517$	0.04	

16	-	-	-		292.8	292.8	16	
17	-	300.8	-	300.8	300.8	300.8	17	17/29=0.586
18	-	-	-	324.8	324.8	324.8	18	
19	-	-	-	324.8	324.8	324.8	19	
20	-	-	-	324.8	324.8	324.8	20	
21	-	324.8	-	324.8	324.8	324.8	21	21/29=0.72
22	-	332.8	-	332.8	332.8	332.8	22	22/29=0.758
23	-	-	-	340.8	340.8	340.8	23	
24	-	372.8	-	372.8	372.8	372.8	24	24/29=0.827
25	-	404.8	-	404.8	404.8	404.8	25	25/29=0.862
26	-	404.8	-	404.8	404.8	404.8	26	26/29=0.896
27	-	412.8	-	412.8	412.8	412.8	27	27/29=0.931
28	-	420.8	-	420.8	420.8	420.8	28	28/29=0.966
29	$n_1=14$		$n_2=14$			$N= n_1+ n_2$	R	$2\psi = 4,5$

**3.7. რეალურ ობიექტებზე ნავთობ- და ცხიმშემცველი პროდუქტებით დაბინძურებული ჩამდინარი წყლების გასაწმენდი მოწყობილობის საექსპლუატაციო მუშაობის პირობების (ტექნიკურ რეგლამენტის), დასადგენად ჩატარებული გამოკვლევა**

**3.7.1. ავტოსამრეცხაოებზე, ავტოგასამართ სადგურებზე და ბენზინგასამართ სადგურებზე ჩატარებული გამოკვლევა**

კვლევის ობიექტად შერჩეულ იქნა ქ. თბილისში განთავსებული ავტოსამრეცხაოები, ავტოგასამართი სადგურები და ბენზინგასამართი სადგურები, საიდანაც მიიღება ნავთობპროდუქტებით (ძირითადად მანქანის და საპოხი ზეთის ნარჩენები) დაბინძურებული ჩამდინარი წყლები. ჩამდინარი წყლები ფორმირდება ძირითადად ავტომანქანების ძრავების და სავალი ნაწილების გაუმართაობის გამო, რომლებიც მიიღება მათი გარეცხვის შედეგად და შემდეგ ამ წყლებს ყოველგვარი გაწმენდის გარეშე უშვებენ ქალაქის წყალარინების (კანალიზაციის) ქსელებში. ეს გარემოება ბუნებრივია იწვევს ქალაქის ჩამდინარი წყლების მთავარი გამწმენდი სადგურის ნორმალური მუშაობის რეჟიმების გადატვირთვას.

გამოკვლევა ჩატარდა ვიზუალურად შერჩევით ობიექტებზე: „ვისოლის“ ავტოსამრეცხაო (მდ. მტკვრის მარჯვენა სანაპირო) „ლუკოლის“ ავტოსამრეცხაო (დადიანის პროსპექტი) და „რომპეტროლის“ ავტოსამრეცხაო (კოსტავას გამზირი). გამოკითხვა ტარდებოდა სპეციალისტებთან გასაუბრებით შემდეგი კითხვების მიხედვით: რამდენი გასარეცხი განყოფილება მოქმედებს რეალურად? რამდენი მსუბუქი მანქანა ირეცხება დღეში საშუალოდ ერთ განყოფილებაში? რამდენი დრო სჭირდება მანქანის გარეცხვას ძრავიანად და ძრავის გარეშე? რა დიამეტრის მილია გამოყენებული გასარეცხი წყლის მიწოდებაზე.

ავტოსამრეცხაოებიდან მიღებული ჩამდინარ წყლებში ნავთობპროდუქტების დაბინძურების რაოდენობის (კგ/დღე-ღამეში)

განსაზღვრის ვიზუალური გამოკვლევის შედეგები მოყვანილია ცხრილში 3.29.

ვიზუალური გამოკითხვების შედეგად დადგინდა, რომ საშუალოდ დაბინძურების რაოდენობა ერთი მანქანის გარეცხვაზე ტოვებს 3 გრ ზეთს, რომლის გათვალისწინებით გაანგარიშებულია დაბინძურების რაოდენობა გრ/დღე-ღამეში მოსული ავტოსამრეცხაოებიდან (იხ. ცხრილი 3.29).

თუ დავუშვებთ, რომ ქ. თბილისში ფუნქციონირებს არანაკლებ 200 სამრეცხაო და ამდენივე პროფილაქტიკური ავტომომსახურების სამსახური, მაშინ ქალაქის საკანალიზაციო ქსელში მოხვედრილი დაბინძურების საერთო რაოდენობა დღე-ღამეში იქნება ავტოსამრეცხაოებიდან 8,8 კგ, ხოლო ავტოპროფილაქტიკებიდან – 200 კგ (მანქანის ნაწილების გარეცხვაზე გახარჯული 10 ლიტრი ბენზინი ან ნავთის შემთხვევაში

### **რესტორნებში ჩატარებული ვიზუალური გამოკვლევა**

კვლევის ობიექტებად შერჩეულ იქნა ქ. თბილისისა და ქ. მცხეთის რიგი ობიექტები: რესტორანი “ქიზიყი” ქ. თბილისში (აღმაშენებლის ხეივანი) რესტორანი “მცხეთა” ქ. მცხეთაში და რესტორანი “ფორტუნა” ქ. თბილისში (აღმაშენებლის ხეივანი). ჩაითვალა, რომ ეს ობიექტები ტექნოლოგიურად მსგავსი რეჟიმით ფუნქციონირებენ.

ეს რესტორნები წარმოადგენენ ქალაქის წყალარინების (კანალიზაციის) ქსელების ცხიმშემცველი პროდუქტებით დაბინძურების წყაროებს. მათგან მიღებული ჩამდინარი წყლები ყოველგვარი გაწმენდის გარეშე ჩაიშვება ქალაქის ერთიან ქსელების სისტემაში. ეს გარემოება ქმნის ქალაქის ჩამდინარი წყლების მთავარი გამწმენდი სადგურის (გარდაბნის გამწმენდი სადგურის) ფუნქციონირების ნორმალური რეჟიმების ფორსირებას. ცხადია, შემოთავაზებული ჩამდინარ წყლებში არსებული ცხიმშემცველი პროდუქტების ლოკალურად დაჭერა გასაწმენდი მოწყობილობით იძლევა მნიშვნელოვან ეკოლოგიურ ეფექტს.

თავად ეს ჩამდინარი წყლები ბინძურდება რესტორნის მუშაობის პროცესში გადაღვრილი და ჭურჭლის გარეცხვით წარმოქმნილი ცხიმებით, რომლებიც უშუალოდ ჩაედინება წყალარინების სისტემაში.

რესტორნებიდან მიღებულ ჩამდინარ წყლებში ცხიმშემცველი პროდუქტებით დაბინძურების რაოდენობის ვიზუალური გამოკვლევის შედეგი მოყვანილია ცხრ. B-ში.

თუ დავუშვებთ რომ თბილისში რესტორნებისა და საზოგადოებრივი კვების ობიექტების ფართო ქსელი ფუნქციონირებს (არანაკლები 2500 ობიექტისა) მაშინ დაბინძურების ის რაოდენობა, რომელიც ხვდება ქალაქის საკანალიზაციო ქსელში შეფასდება 3000ლ/დღეღამეში (ერთ ობიექტზე) 1.5ლ დაბინძურების მიღების შემთხვევაში.

ქ. თბილისის შერჩევით აღებული ავტოსამრეცხოვებიდან მიღებულ ჩამდინარ წყლებში ნაეთობპროდუქტების დაბინძურების რაოდენობის ვიზუალური გამოკვლევის შედეგები

ცხრილი 3.31

№	ობიექტები	გასარეცხი ვანის რაოდენობა	საფარიწარმოების რაოდენობა	გასარეცხი მანქანის რაოდენობა ერთ განყოფილებაში დღეში	გარეცხვის დრო		გასარეცხი წყლის ფაქტ. ხარჯი კვ/სთ	მასალის დანახვა	დაბინძურების რაოდენობა ერთ კროც.	დაბინძურების რაოდენობა დღეში
					ძრავით	ძრავის გარეშე				
1	“ვისოლის” ავტოსამრეცხოვანი მტკვრის მარჯვენა სანაპიროზე	6	12	6-8	0.58-0.66	0.41-0.5	15.3	183.3	3	144
2	“ლუკოილის” ავტოსამრეცხოვანი მტკვრის მარჯვენა სანაპიროზე	6	12	7-8	0.58-0.66	0.41-0.5	15.3	183.3	3	144
3	“რომპეტროლის” ავტოსამრეცხოვანი მტკვრის მარჯვენა სანაპიროზე	4	12	5-6	0.5-0.58	0.33-0.41	15.3	183.3	3	72

ქ. თბილისის და ქ. მცხეთის შერჩევით აღებული რესტორნებიდან მიღებულ ჩამდინარ წყლებში ცხიმშემცველი პროდუქტებით დაბინძურების რაოდენობის ვიზუალური გამოკვლევის შედეგები

ცხრილი 3.32

№	ობიექტები	სენსიტივობის ინდექსი	მუშაობის დრო	საშუალოდ აღებული 100 კაცზე გამოკვებული თხევადი ცხიმის რაოდენობა ლიტრი	100 კაცზე გამოკვებული თევზების რაოდენობა საშუალოდ	წყლის დასახარჯი რაოდენობა და ონკანების დიამეტრიც, მმ სარეცხ ნიჟარებთან	მომხმარებელი წყლის რაოდენობა მ <sup>3</sup> /დღეში		დაცველასა და დეზინფექციის ხარჯები	
							დღე	წელი	დღე	წელი
1	რესტორანი "ქიზივი" ქ. თბილისში დ. აღმაშენებლის ხეივანში	100-200	12	15-20	900-1000	$8 \frac{1}{15}$	82.8	662.4	2	40
2	რესტორანი "მცხეთა" ქ. მცხეთაში	100-200	12	8-10	800-900	$7 \frac{1}{15}$	82.8	579.6	2	36
3	რესტორანი "ფორტუნა" ქ. თბილისში, დ. აღმაშენებლის ხეივანში	100-200	12	10-12	700-900	$7 \frac{1}{15}$	82.8	579.6	2	36

თავი 4. ნავთობ- და ცხიმოვან-ნარკოტიკული ჩამდინარი წყლების  
დაბინძურების ხარისხის შეფასება, პროგნოზირება და  
ლონისკივები წყალარინების სისტემის ეკოლოგიური  
უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად

**4.1. სამეურნეო საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების  
დაბინძურების ხარისხის შეფასებისა და პროგნოზირების  
დესკრიფციული ტიპის მოდელების აგება**

ზედაპირული წყლის ობიექტების ეკოსისტემის ნორმალური სანიტარულ-ჰიგიენური პირობების დაცვა უდიდესი ეროვნული მნიშვნელობის ამოცანაა [45-46]. ამ შემთხვევაში თითოეული განსახილველი წყლის ეკოსისტემა მოიაზრება, როგორც რთული სისტემა [47], რადგან წყალი გამოიყენება მრავალი დანიშნულებით: ჰიდროენერგეტიკის, წყალმომარაგების, წყალარინების (კანალიზაციის), ორგანიზაციის, რეკრიაციის, თევზსამეურნეო და სხვა კომპლექსური დანიშნულებით. აქედან გამომდინარე, უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების ხარისხის შეფასებისა და პროგნოზირების დესკრიფციული მოდელების შედგენას, რომელთა საშუალებით შესაძლებელი იქნება (ევროსაბჭოს 91/271/EEC დირექტივის მოთხოვნათა შესაბამისად) წყლის ხარისხის შეფასება და პროგნოზირება ზედაპირული წყლის ობიექტებში ჩაშვებამდე.

ევროსაბჭოს დირექტივის 91/27/EEC თანახმად, რომელიც შეეხება მუნიციპალური კანალიზაციის ჩამდინარი წყლების გაწმენდას, ნებისმიერი სახის სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლები ქალაქებისა და დასახლებული ადგილების ტერიტორიებიდან უნდა შეგროვდეს და გამწმენდ სადგურებში გაიწმინდოს ზედაპირული წყლის ობიექტებში მათ ჩაშვებამდე. ცნობილია ზედაპირულ წყლებში ჩამდინარი წყლების ჩაშვების სტანდარტები (ცხრ. 4.1).

ჩვენ მიერ განზოგადდა არსებული სტანდარტები ჩამდინარი წყლების ჩაშვებაზე ზედაპირულ წყლებში, სხვადასხვა ქვეყნის შემთხვევაში. 4.1. ცხრილის შესაბამისად მოყვანილი ეს სტანდარტები შეიცავს დამაბინძურებელ ნივთიერებათა ზღვრულად ჩასაშვებ კონცენტრაციებს

(ზდკ-მლ/ლ). მე-9 გრაფაში ჩვენ მიერ სისტემატიზებული იქნა ალტერნატიული შემთხვევა, რომელიც რეკომენდებულად მივიჩნიეთ საქართველოს პირობებში გამოსაყენებლად.

შესაბამისად, 4.2 ცხრილში მოყვანილია ჩამდინარი წყლების ხარისხის შეფასების შემოთავაზებული დესკრიფციული ტიპის მოდელები, რომლებიც შედგენილია ზედაპირულ წყლებში მათ ჩაშვებაზე შემოთავაზებული ვარიანტის შესაბამისად (ცხრ. 4.1, მე-9 გრაფა).

დესკრიფციული მოდელების აგებაში გამოყენებულ იქნა სუბიექტურ-კრიტიკული შეფასების მეთოდის [48-49]. ეს მეთოდის საშუალებას იძლევა ცალკეული ნივთიერების მიხედვით სამოდულო დამოკიდებულების შესაბამისად (ცხრ. 4.2) განისაზღვროს თითოეული  $d_i$  ( $i \rightarrow 1, 2, \dots, m$ ), სადაც  $d_i$  აღნიშნავს ნივთიერების დაბინძურების ხარისხის დიფერენციულ შეფასებას; ( $i=1, 2, \dots, m$ ) არის ნივთიერებათა საერთო რაოდენობა. ამავე დროს,  $d_i \in [0, 1]$ .

აქ  $d=0$  შეესაბამება ხარისხობრივ-კრიტიკული შეფასების აბსოლუტურად მიღებულ მნიშვნელობას, ანუ ჩამდინარი წყლის ხარისხი შეფასდება, როგორც ძალიან დაბინძურებული, ხოლო  $d=1$  შეესაბამება ნივთიერების ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას, ანუ ამ შემთხვევაში შეიძლება ჩამდინარი წყლის წყალსატევში ჩაშვება. მოდელების შესადგენად (ცხრ. 4.2) საჭირო იყო თითოეული განსახილველი პარამეტრის ცვალებადობის არის დანიშვნა. სტანდარტით განსაზღვრული ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციების მნიშვნელობათა შესაბამისად (იხ. ცხრ. 4.2, გრაფა 3) შედგენილი მოდელები (ცხრ. 4.2, გრაფა 4) ზოგადად ასახავენ საანალიზო ნივთიერების როგორც ცუდ, ისე სხვა ხარისხობრივ დიფერენციულ შეფასებებს შემდეგი სკალური გრადაციების შესაბამისად: თუ  $0 \leq d_i < 0,33$ , მაშინ აღინიშნება დამაბინძურებელი ნივთიერების ცუდი ხარისხობრივი მდგომარეობა,  $0,33 \leq d_i < 0,67$ , მაშინ მდგომარეობა ჩაითვლება დამაკმაყოფილებლად, ხოლო როდესაც  $0,67 \leq d_i \leq 1$ , კარგი მდგომარეობაა.

სტანდარტები ჩამდინარი წყლების ჩაშვებაზე ზედაპირულ წყლებში

ცხრილი 4.1

პარამეტრები	ზღკ(მგ/ლ)							
	შევი-ცარია	პოლანდია	დანია	ავსტრია	ინგლისი	იაპონია	ლატვია	შემოთავაზებული
შეწონილი ნაწილაკები	20	35	30	25	-	-	15	50
უბმ	20	10-20	20	20	-	-	12	20
უბმ	დაბალი	-	-	75	-	-	90	75
საერთო P (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )	0,3-0,8	1	1	2	-	-	2,5	1,5
საერთო N (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	-	10	-	-	-	-	2,5	12
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (ნიტრატები) N	1	-	-	1	-	-	0,15	0,5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (ამონიუმი) N	0,5	-	2	10	-	-	8	2
ციანიდი (CN <sup>-</sup> )	0,1	-	0,1	0,1	-	-	0,1	0,1
ნაშთი ქლორი	-	-	0,1	0,1	-	-	0,1	0,1
ქლორიდები (Cl <sup>-</sup> )	-	-	-	-	-	-	300	300
სულფიდი (H <sub>2</sub> S)	0,1	-	-	0,1	1,0	-	0	0,5
სულფატები (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	დაბალი	-	-	-	-	-	500	200
Cd (კადმიუმი)	0,1	0,005	-	0,1	-	-	0,02	0,05
Cr (ქრომი საერთო)	2	0,05	0,2	0,5	-	-	0,05	0,3
Cu (სპილენძი)	0,5	0,05	0,1	0,5	-	2,0	0,05	0,5
Ni (ნიკელი)	2	0,05	0,2	0,5	1,0	-	0,1	0,5
Pb (ტყვია)	0,5	0,05	0,1	0,5	1,0	1,0	1,0	0,5
Al (ალუმინი)	10	-	-	2	-	-	-	2,0
Fe (რკინა)	2	-	-	2	-	-	2	2,0
Sn (კალა)	2	-	-	2	-	-	-	1,0
Zn (თუთია)	2	0,05	0,5	2	-	5,0	0,05	0,5
ს.ზ.ა.ნ. ანიონური, არაანიონური	-	-	-	1,0	-	-	0,5	0,5
	-	-	-	-	-	-	2	1
ნავთობპროდუქტები (საერთო)	-	0,1	-	-	-	-	0,5	5,0
ფენოლები	-	-	0,2	0,1	-	-	0,2	0,2
ცხიმები, ორგანული ზეთები	-	-	-	-	-	-	5,0	5,0

**შედგენილი დესკრიფციული მოდელები აგებული საქართველოს პირობებისათვის ჩამდინარი წყლების ჩაშვებაზე ზედაპირულ წყლებში ევროსაბჭოს (91/271/EEC სტანდარტი) დირექტივის შესაბამისად**

ცხრილი 4.2

№	ინგრედიენტ-პარამეტრები	პარამეტრის ცვლილების სასაზღვრო არეები	დესკრიფციული მოდელი
1	შეწონილი ნაწილაკები	შ.გ.=52→d=0,2; შ.გ.=50→d=0,8	$d_{შ.გ.} = \exp[-\exp(-50,9+0,988_{შ.გ.})]$
2	უბმ	უბმ=22→d=0,2; უბმ=20→d=0,8	$d_{უბმ.} = \exp[-\exp(-21,26+0,988_{უბმ.})]$
3	უქმ	უქმ=77→d=0,2; უქმ=75→d=0,8	$d_{უქმ.} = \exp[-\exp(-75,6+0,988_{უქმ.})]$
4	საერთო P( $PO_4^{3-}$ )	$PO_4=1,7 \rightarrow d=0,2$ ; $PO_4=1,5 \rightarrow d=0,8$	$d_{po_4} = \exp[-\exp(-16,32+0,988 po_4)]$
5	საერთო N ( $NO_4^-$ )	$NO_3=14 \rightarrow d=0,2$ ; $NO_3=12 \rightarrow d=0,8$	$d_{NO_3} = \exp[-\exp(-13,356+988 NO_3)]$
6	$NO_2^-$ (ნიტრიტები) - N	$NO_2=0,7 \rightarrow d=0,2$ ; $NO_2=0,5 \rightarrow d=0,8$	$d_{NO_2} = \exp[-\exp(-6,44+9,88 NO_2)]$
7	$NH_4^+$ (ამონიუმი)	$NH_4=2,2 \rightarrow d=0,2$ ; $NH_4=2 \rightarrow d=0,8$	$d_{NH_4} = \exp[-\exp(-21,26+9,88 NH_4)]$
8	ციანიდი (CN <sup>-</sup> )	$CN=0,15 \rightarrow d=0,2$ ; $CN=0,1 \rightarrow d=0,8$	$d_{CN} = \exp[-\exp(-5,45+39,52 CN)]$
9	ნაშთი ქლორი	$6ქ=0,45 \rightarrow d=0,2$ ; $6ქ=0,4 \rightarrow d=0,8$ ;	$d_{6ქ} = \exp[-\exp(-17,308+39,52_{6ქ})]$
10	ქლორიდები (Cl <sup>-</sup> )	$Cl=305 \rightarrow d=0,2$ ; $Cl=300 \rightarrow d=0,8$	$d_{cl} = \exp[-\exp(-120+0,395_{cl})]$
11	სულფიდი ( $H_2S$ )	$H_2S=0,55 \rightarrow d=0,2$ ; $H_2S=0,5 \rightarrow d=0,8$ ;	$d_{H_2S} = \exp[-\exp(-21,26+39,52 H_2S)]$
12	სულფატები ( $SO_4^{2-}$ )	$SO_4^{2-}=205 \rightarrow d=0,2$ ; $SO_4^{2-}=200 \rightarrow d=0,8$	$d_{SO_4^{2-}} = \exp[-\exp(80,3+0,394 SO_4^{2-})]$
13	Cd (კადმიუმი)	$Cd=0,07 \rightarrow d=0,2$ ; $Cd=0,05 \rightarrow d=0,8$	$d_{Cd} = \exp[-\exp(-6,44+98,8 Cd)]$
14	Cr (ქრომი საერთო)	$Cr=0,4 \rightarrow d=0,2$ $Cr=0,3 \rightarrow d=0,3$	$d_{Cr} = \exp[-\exp(-7,428+19,76Cr)]$
15	Cu (სპილენძი)	$Cu=0,6 \rightarrow d=0,2$ ; $Cu=0,5 \rightarrow d=0,8$	$d_{Cu} = \exp[-\exp(-11,38+19,76 Cu)]$
16	Ni (ნიკელი)	$Ni=0,6 \rightarrow d=0,2$ $Ni=0,5 \rightarrow d=0,8$	$d_{Ni} = \exp[-\exp(-11,38+19,76 Ni)]$
17	Pb (ტყვიას)	$Pb=0,6 \rightarrow d=0,2$ ; $Pb=0,5 \rightarrow d=0,8$	$d_{Pb} = \exp[-\exp(-11,38+19,76 Pb)]$
18	Al (ალუმინი)	$Al=0,6 \rightarrow d=0,2$ $Al=0,5 \rightarrow d=0,8$	$d_{Al} = \exp[-\exp(-11,38+19,76 Al)]$
19	Fe (რკინა)	$Fe=2,2 \rightarrow d=0,2$ $Fe=2 \rightarrow d=0,8$	$d_{Fe} = \exp[-\exp(-21,26+9,88 Fe)]$
20	Zn (თუთია)	$Zn=0,55 \rightarrow d=0,2$ ; $Zn=0,5 \rightarrow d=0,8$	$d_{Zn} = \exp[-\exp(-21,26+39,52 Zn)]$
21	ს.ზ.ა.ნ. ანიონური არაანიონური	ს.ზ.ა.ნ. ან=0,55→d=0,2 ს.ზ.ა.ნ. ან=0,5→d=0,8 ს.ზ.ა.ნ. არაან=1,5→d=0,2 ს.ზ.ა.ნ. არაან=1→d=0,8	$d_{ს.ზ.ა.ნ. ან} = \exp[-\exp(-21,26+39,52 ს.ზ.ა.ნ. ან)]$ $d_{ს.ზ.ა.ნ. არაან} = \exp[-\exp(-21,26+39,52 ს.ზ.ა.ნ. არაან)]$
22	ნავთობპროდუქტები საერთო	ნავთ=0,55→d=0,2 ნავთ=0,5→d=0,8	$d_{ნავთ} = \exp[-\exp(-21,26+39,52 ნავთ)]$
23	ფენოლები	ფენ=0,55→d=0,2 ფენ=0,5→d=0,8	$d_{ფენ} = \exp[-\exp(-21,26+39,52 ფენ)]$
24	ცხიმები, ორგანული ზეთები	ცხ=0,55→d=0,2 ცხ=0,5→d=0,8	$d_{ცხ} = \exp[-\exp(-21,26+39,52 ცხ)]$

ამრიგად, წარმოდგენილი დესკრიფციული მოდელების საშუალებით (ცხრ. 4.2. გრაფა 4) შესაძლებელია ამა თუ იმ ქიმიური ნივთიერებით (ცხრ. 4.2, გრაფა 2) დაბინძურების ფაქტიური ხარისხობრივი მდგომარეობის დადგენა. ცალკეული შეფასებები ასახავენ ნივთიერებათა დაბინძურების მხოლოდ დიფერენციულ შეფასებებს, ხოლო ინტეგრირებული კრიტიკული შეფასების განსაზღვრისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს [48-49], როგორც შემადგენელ ნივთიერებათა მნიშვნელობების საშუალო გეომეტრიული სიდიდე:

$$D = \sqrt[m]{\prod_{i=1}^m d_i}, i=1,2,\dots,m, \quad (4.1)$$

სადაც  $\Pi$  ნამრავლის აღების ნიშანია; როდესაც  $=0$ , მაშინ ინტეგრირებული შეფასება აღნიშნავს წყლის აბსოლუტურად მიუღებელ ხარისხს, ხოლო როდესაც  $D=1$ , მაშინ ჩამდინარი წყალი შეიძლება ჩაშვებულ იქნეს ზედაპირული წყლის ობიექტებში. აქაც, ისევე როგორც წინა შემთხვევაში, შეფასების სუბიექტურ-კრიტერიული სკალა იგივე დარჩება. კერძოდ,  $0 \leq D_i < 0,33$ , ცუდი მდგომარეობა;  $0,33 \leq D_i < 0,67$ , – დამაკმაყოფილებელი მდგომარეობა; ხოლო  $0,67 \leq D_i \leq 1$  – კარგი მდგომარეობა. შედგენილი მოდელების ადეკვატურობაზე შემოწმება დასაბუთდა კომპიუტერულ-პროგრამული გაანგარიშებით Matlab სისტემაში.

#### **4.2. ნავთობ- და ცხიმშემცველი პროდუქტებით დაბინძურებული სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების გასაწმენდი მოწყობილობა სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტებზე (აგროსამრეცხაოები, რესტორნები და სხვ.) გამოსაყენებლად**

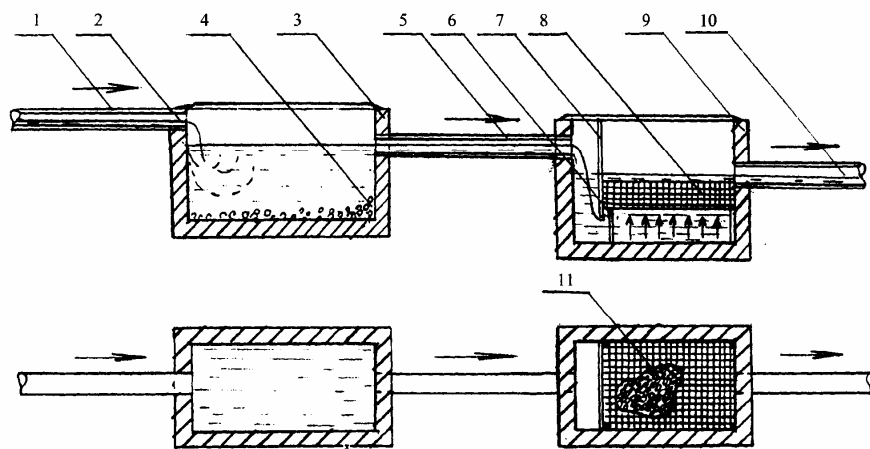
წყალსატევების (მდინარეების, ტბების, წყალსაცავების და სხვა ობიექტების) დაბინძურება ძირითადად განპირობებულია სამრეწველო საწარმოების, სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო (კომუნალური) და სხვა სახის გაუწმენდავი ჩამდინარი წყლების (აგრეთვე, მიმდებარე ტერიტორიების ზედაპირული წყლების) ჩაშვებით. დამაბინძურებელ ინგრედიენტებს შორის უმთავრესი ადგილი უკავია ნავთობპროდუქტებს,

ფენოლებს, ადვილად ქანგვად ორგანულ ნივთიერებებს, სპილენძის და თუთიის შენაერთებს, ამონიუმისა და ნიტრიტულ აზოტს, ანილინს და სხვ. ჩამოთვლილი ნივთიერებებიდან ერთ-ერთ მნიშვნელოვან დამაბინძურებლად მოისაზრება ნავთობპროდუქტები [50], რომელთა ჭარბი რაოდენობა ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციის მიხედვით გამოუსწორებელ ზიანს აყენებს წყლის ეკოსისტემას (როგორც წყალმცენარეული, ასევე თევზსამეურნეო მნიშვნელობით).

აქედან გამომდინარე, უდიდესი ეკოლოგიური მნიშვნელობა ენიჭება აღნიშნული ობიექტების ნავთობპროდუქტებით დაბინძურებული სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების ლოკალურ გაწმენდას ქალაქის წყალარინების ქსელებში ჩაშვებამდე.

ქალაქის წყალარინების სისტემაში ნავთობპროდუქტებით სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების ძირითად დაბინძურების კერას ქმნიან ავტოსამრეცხაოები და ანალოგიური სახის ობიექტები, რომლებიც ყოველგვარი ლოკალური გაწმენდის გარეშე უშვებენ განარეცხ წყლებს ქალაქის წყალარინების ქსელებში. თუ გავითვალისწინებთ, საავტომობილო ტრანსპორტის ზრდის რა ტემპებია დღეს, ნათელი წარმოსადგენია ის ზიანი, რომელიც მიეყენება ამ ობიექტების ნავთობპროდუქტებით დაბინძურებულ ჩამდინარი წყლების წყალსატევებს. ჩამდინარი წყლებში ნავთობპროდუქტების შემცველობა შეიძლება იყოს 3.12-57.2 მგ/დმ<sup>3</sup> (მაშინ, როდესაც მისი ნორმატიული მაჩვენებელი არ უნდა აღემატებოდეს 0.3 მგლ-ს) [51]. ამიტომ ეს წყლები (სანიტარულ-ჰიგიენური მოთხოვნების შესაბამისად) ქალაქის წყალარინების ქსელებში ჩაშვებამდე საჭიროებენ აუცილებელ ლოკალურ გაწმენდას. აღნიშნული ტიპის ობიექტებისათვის, ნავთობპროდუქტებით დაბინძურებული ჩამდინარი წყლების გაწმენდის მიზნით, შემუშავებულია “სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების გასაწმენდი მოწყობილობა” [52], რომლის დანერგვა ეფექტურია პრაქტიკულად ყველა ავტოსამრეცხაოსა და სხვა ობიექტებისათვის. შემოთავაზებული კონსტრუქცია გამარტივებულია არსებულ სტანდარტულ მოწყობილობებთან შედარებით, იკავებს გაცილებით ნაკლებ ფართობს (არაუმეტეს 1.5 მ<sup>2</sup>-სა) და გამოსაყენებლად პრაქტიკული და მოსახერხებელია. ამავე დროს, ამ მოწყობილობის დამზადება და ექსპლუატაცია არ

ითხოვს დიდ დანახარჯებს, საერთოდ არ საჭიროებს ელექტროენერჯის გამოყენებას. ეს მოწყობილობა კომპაქტურია და აღჭურვილია შესაბამისი ფილტრით, რომლის მეშვეობით ხდება მასში გამავალი სამეურნეო-ჩამდინარი წყლების ნაკადიდან ნავთობპროდუქტების დაჭერა (იხ. ნახ 1, 2). ფილტრის შემგებად რეკომენდებულია გამოყენებულ იქნას პერლიტი, რომელიც ჩვენი გამოკვლევებით სხვა მასალებთან შედარებით გამოირჩევა მაღალსორბციული თვისებებით, მოიპოვება ადგილობრივად და იაფია. მოწყობილობა მუშაობს ჩამდინარი წყლის შემავალი ნაკადის როგორც აღმავალი (ნახ. 1), ასევე დაღმავალი მიმართულებით (ნახ. 2). ორივე შემთხვევაში ფილტრში გასული ჩამდინარი წყლის მასა ადგილზე ტოვებს ნავთობპროდუქტის ნარჩენებს, ხოლო ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციის შესაბამისად გაწმენდილი წყალი ქალაქის წყალარინების ქსელში ჩაიშვება.

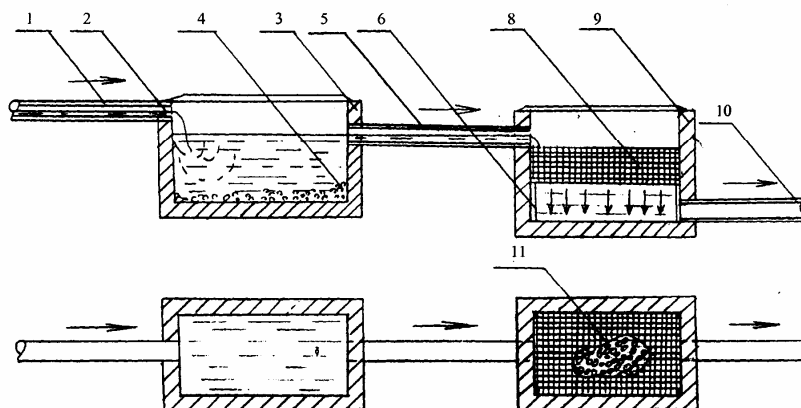


ნახ. 4.1  
გამწმენდი მოწყობილობა ნაკადის აღმავალი მიმართულებით

აღსანიშნავია მოწყობილობის ნაკლოვანი მხარეც, კერძოდ, ნაგებობის კომპაქტური მოცულობის გამო (40 მ<sup>3</sup>/სთ-ზე მეტი გამტარუნარიანობის შემთხვევაში) საფილტრ შრეს დასჭირდება შეცვლა-განახლება, ხოლო ნაკლები გამტარუნარიანობის შემთხვევაში კი გარანტირებულია შედარებით ნორმალური ექსპლუატაცია. ამასთან, თუ

გავითვალისწინებთ, რომ გამწმენდ მოწყობილობას მიმღები საფილტრავი შრე რეკომენდებული საფილტრავი მასალით შეიძლება რამდენიმე ჰქონდეს, მაშინ მოწყობილობის ხანგრძლივი ექსპლუატაცია გარანტირებული იქნება.

1-ლი ნახ-ის მიხედვით შემომავალი მილით 1 ჩამდინარი წყლის ნაკადი 2 შედის მართკუთხა ფორმის რეზერვუარში 3, რომელიც ასრულებს პირველადი სალექარის როლს და რომელშიც ფიზიკურად სრულდება მყარი მინერალური ნარევისა და შეწონილი ნაწილაკების გამოლექვა 4, რეზერვუარის 3 ფსკერზე, ხოლო ამოტივტივებული (გამოცალკეეებული) ნავთობპროდუქტი ან ცხიმშემცველი პროდუქტი წყლის ნაკადთან ერთად ფილტრთან შემაერთებული მილის 5 საშუალებით გადადის მართკუთხა ფორმის ფილტრში 9, რომელშიც ფეხებით 6 ჩამონტაჟებულია საფილტრე შემკვები 11 საფილტრო შრით შევსებული წვრილგისოსიანი (წვრილბადიანი) ავზი 8, რომელიც წყლის ნაკადის შემოსვლის მხრიდან დაცულია წყალგაუმტარი ფარით 7 და რომელშიც წყლის ნაკადი შედის აღმავალი მიმართულებით (ნახაზზე ისრებით ნაჩვენებია წყლის მოძრაობის აღმავალი მიმართულება). ამის შემდეგ საფილტრო ავზის შრეებში რჩება დაჭერილი ნავთობპროდუქტი (ან ცხიმპროდუქტი), ხოლო ამ უკანასკნელიდან წყლის ნაკადი გამავალი მილით 10 ტრანსპორტირდება ქალაქის წყალარინების ქსელში.



ნახ. 4.2

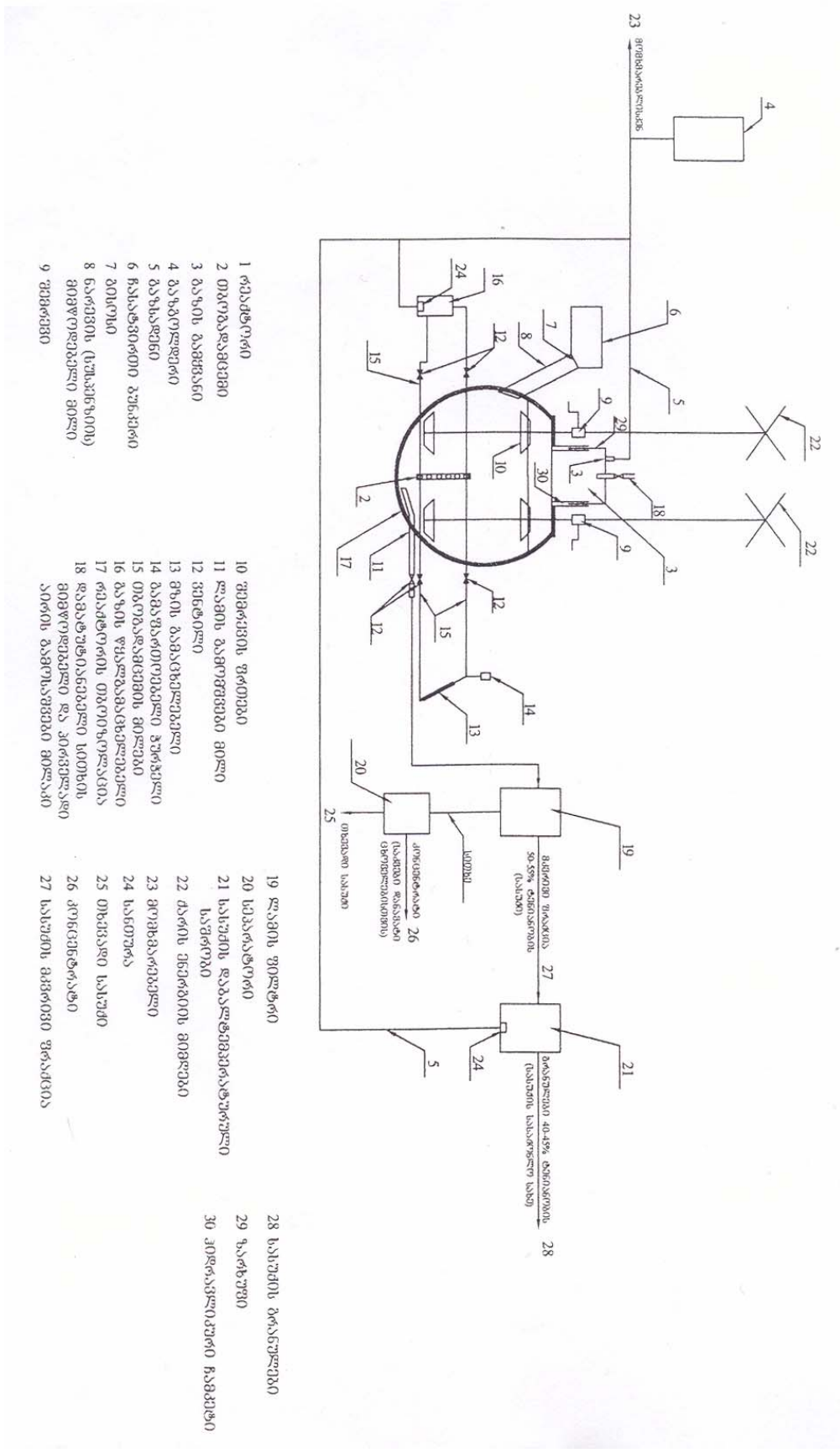
ა. გამწმენდი მოწყობილობა ნაკადის დაღმავალი მიმართულებით

მე-2 ნახ-ის მიხედვით შემომავალი მილით 1 ჩამდინარი წყლის ნაკადი 2 შედის მართკუთხა რეზერვუარში 3, რომელიც ასრულებს პირველადი სალექარის როლს და რომელშიც ფიზიკურად სრულდება მყარი მინერალური ნარევისა და შეწონილი ნაწილაკების გამოლექვა 4 რეზერვუარის 3 ფსკერზე, ხოლო ამოტივტივებული (გამოცალკეეებული) ნავთობპროდუქტი ან ცხიმშემცველი პროდუქტი წყლის ნაკადთან ერთად ფილტრთან შემაერთებული მილის 5 საშუალებით გადადის მართკუთხა ფორმის ფილტრში 9, რომელშიც ფეხებით 6 ჩამონტაჟებულია საფილტრე შემესები 11, საფილტრე შრით შევსებული წვრილგისოსიანი (წვრილბადიანი) ავზი 8, რომელშიც წყლის ნაკადი შედის დაღმავალი მიმართულებით (ნახაზზე ისრებით ნაჩვენებია წყლის მოძრაობის დაღმავალი მიმართულება) და რომელშიც გაფილტვრის შემდეგ საფილტრო ავზის შრეებში რჩება დაჭერილი ნავთობპროდუქტი (ან ცხიმშემცველი პროდუქტი), ხოლო ამ უკანასკნელიდან წყლის ნაკადი გამავალი მილით 10 ტრანსპორტირდება ქალაქის წყალარინების ქსელში.

შემოთავაზებული მოწყობილობის დამონტაჟება ხელმისაწვდომია ზემოთ აღნიშნული სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტების ნავთობპროდუქტებით დაბინძურებული ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად ქალაქის წყალარინების ქსელში ჩაშვებამდე [53].

**1მ<sup>3</sup> ჩამდინარი წყლის გაწმენდის საორიენტაციო დაყვანილი ღირებულება**  
ცხრილი 4.3

მეთოდი	განზომილების ერთეული	ღირებულება			შენიშვნა
		სამშენებლო	საექსპლუატაციო	დაყვანილი	
1.	ლარი/მ <sup>3</sup>	1500	105	255	
2.	ლარი/მ <sup>3</sup>	2000	78	278	
3.					
ა)	ლარი/მ <sup>3</sup>	1100	85	195	
ბ)	ლარი/მ <sup>3</sup>	1600	55	215	
გ)	ლარი/მ <sup>3</sup>	880	37	125	



- 1 რეაქტორი
- 2 ტარობა ლაგუნში
- 3 ბაზის ბაგენა
- 4 ბაზრადი
- 6 ჩაატვირთი ბუნჯი
- 7 ბიტი
- 8 ნატივი (ქუჩატი) ბიტი
- 9 ბიტი

- 10 ბიტი
- 11 ბიტი
- 12 ბიტი
- 13 ბიტი
- 14 ბიტი
- 15 ბიტი
- 16 ბიტი
- 17 ბიტი
- 18 ბიტი

- 19 ბიტი
- 20 ბიტი
- 21 ბიტი
- 22 ბიტი
- 23 ბიტი
- 24 ბიტი
- 25 ბიტი
- 26 ბიტი
- 27 ბიტი

- 28 ბიტი
- 29 ბიტი
- 30 ბიტი

ნახ. 4.3

ბიოგაზის მიღების ბიოენერგეტიკული მოწყობილობის ტექნოლოგიური სქემა

ცხრ. 4.3-ის მიხედვით 1მ<sup>3</sup> ჩამდინარი წყლის გაწმენდის დაყვანილი ღირებულებამ გაწმენდის მეთოდების მიხედვით გვიჩვენა, რომ ფლოტაცია 2.04 – ჯერ მეტი ჯდება პერლიტით გაწმენდასთან შედარებით, აგრეთვე ოზონირება 2.22 – ჯერ მეტი ღირს ვიდრე პერლიტით გაწმენდა, კლინოპტილოლიტი 1.56 – ჯერ მეტი, ხოლო გააქტიურებული ნახშირის შემთხვევაში – 1.72 – ჯერ ვიდრე პერლიტით გაწმენდა. ამრგად ნავთობ და ცხიმპროდუქტებით დაბინძურებული წყლების გამენდა შედარებით ეკონომიურია გაწმენდის აღნიშნულ მეთოდებთან შედარებით.

რაც შეეხება ნავთობ- და ცხიმშემცველი პროდუქტებით დაბინძურებული პერლიტის გამფილტრავი შრის რეგენერაციას და გადამუშავებას (უტილიზაციას) ჩვენს მიერ რეკომენდებულია გამოსაყენებლად ცნობილი ხერხები:

- ნავთობპროდუქტებით დაბინძურებული პერლიტის მასის გამოყენება ასფალტობეტონის წარმოებაში, როგორც მსუბუქი კონსტრუქციების შექმნის საშუალება.

- ცხიმშემცველი პროდუქტებით დაბინძურებული პერლიტის მასის რეგენერაცია ტექნოლოგიურად ითვალისწინებს მაღალი ტემპერატურის წყალში მის პირველად დაღობას და ამოტივტივებული ცხიმების დაჭერას, რომელიც გადამუშავებას ექვემდებარება სპეციალურ ბიორეაქტორში (ეკოლოგიურად სუფთა საწვავი ბიოგაზის – მეთანის და სასუქების მიღების მიზნით).

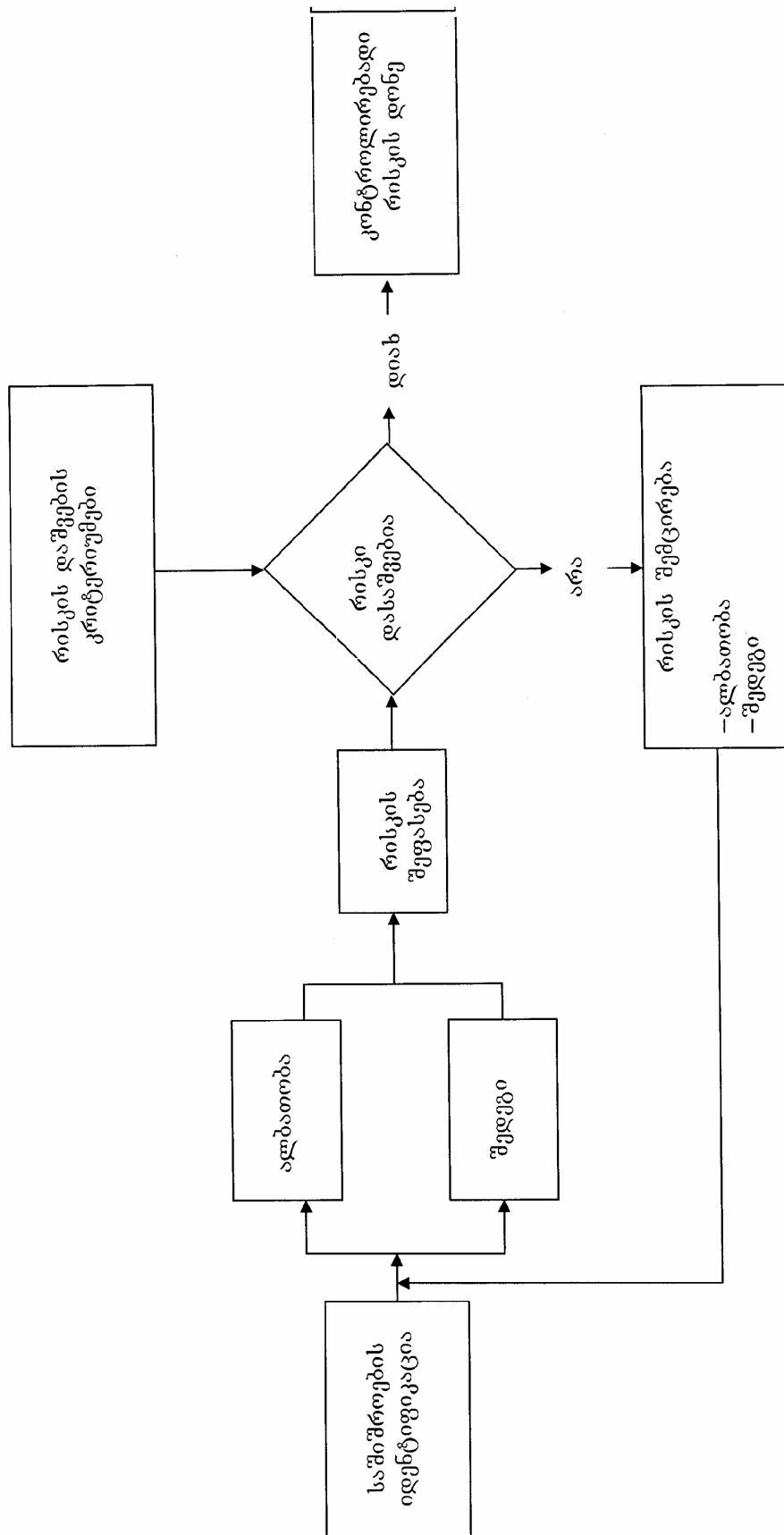
### **4.3. წყალარინების საინჟინრო სისტემების ფუნქციონირების საექსპლუატაციო საიმედოობის, ეკოლოგიური უსაფრთხოებისა და რისკის პრობლემები**

წყალმომარაგება-წყალარინების სისტემების ელემენტ-ნაგებობებისა და მოწყობილობების ფუნქციონირების საექსპლუატაციო საიმედოობის, უსაფრთხოებისა და რისკის პრობლემების გადაწყვეტას მომხმარებელთა მიერ დამყარებულ წყლით უზრუნველყოფის პროცესში უდიდესი პრაქტიკული მნიშვნელობა ენიჭება. აღნიშნულ კონტექსტში თუ გავითვალისწინებთ წყლით უზრუნველყოფის პროცესის ცვალებადობის არასტაციონალურ ხასიათს, მაშინ წყალმომარაგება-წყალარინების

საინჟინრო სისტემების დროსა და სივრცეში ნორმალური ფუნქციონირების ხარისხის შენარჩუნება მნიშვნელოვნად იქნება დამოკიდებული აღნიშნული სისტემის შემდგენი ელემენტ-ნაგებობებისა და მოწყობილობების საექსპლუატაციო საიმედოობის, ეკოლოგიური უსაფრთხოებისა და რისკის პრობლემების გადაწყვეტაზე [54-60].

პრობლემების გადაწყვეტის ძირითად ასპექტად მოისაზრება წყალმომარაგება-წყალარინების სისტემების (როგორც ტექნიკური სისტემების) ელემენტ-ნაგებობებისა და მოწყობილობების საექსპლუატაციო საიმედოობის, უსაფრთხოებისა და რისკის უზრუნველყოფის კომპლექსური ამოცანის გადაწყვეტის შესაძლებლობა საპროექტო პირობებით გათვალისწინებული საანგარიშო-მახასიათებელი პარამეტრების მიხედვით. ამიტომ ამ სისტემების დაპროექტების სტადიაზე საექსპლუატაციო საიმედოობის, უსაფრთხოებისა და რისკის განმსაზღვრელი საანგარიშო მახასიათებელი პარამეტრების სიდიდეები, როგორც წესი, აღებული უნდა იქნეს ნორმატიული პირობების შესაბამისად. აქვე აღსანიშნავია ის გარემოებაც, რომ მოქმედი ნორმატიული დოკუმენტები სრულყოფილად ვერ ითვალისწინებენ აღნიშნული სისტემების საიმედოობის, უსაფრთხოებისა და საანგარიშო რისკის უზრუნველყოფის რიგ საკითხებს, კერძოდ საექსპლუატაციო პროცესების მოდელირებასა და საექსპლუატაციო-მახასიათებელი პარამეტრების ალბათური გაანგარიშების მიდგომებს. ბოლო პერიოდში საინჟინრო სისტემურ უსაფრთხოებასა და "დასაშვები" რისკის ფაქტორის გამოყენებას საპროექტო-ნორმატიულ დოკუმენტებში უდიდეს ყურადღებას უთმობენ. მაგალითად, რისკების ანალიზისა და მართვის საკითხებში, ახალი ეკონომიკური პირობების გათვალისწინებით, იყენებენ ალბათურ მიდგომას საინჟინრო სისტემების დარჩენილი რესურსის განსაზღვრისათვის [61-62].

ზოგადად მილსადენების სისტემების ფუნქციონირების საიმედოობის საკითხები, მათი ნორმალური ექსპლუატაციისა და სეისმურ-ექსტრემალურ სიტუაციებში ფუნქციონირების პირობებში, განხილულია [63-67]-ში, სადაც ამ ელემენტების საიმედოობის, უსაფრთხოებისა და რისკის უზრუნველყოფა დაპროექტების სტადიაზე გადაწყვეტილია რეზერვირებისა და დუბლირების საკითხების გათვალისწინებით. მაგრამ უნდა აღინიშნოს რომ, საკვლევი პრობლემა ჯერ კიდევ სრულყოფილად არაა გადაწყვეტილი.



ნახ. 4.4. ტექნოგენური რისკის ანალიზის ბლოკ-სქემა

წყალმომარაგება-წყალარინების ელემენტ-ნაგებობებისა და მოწყობილობების საექსპლუატაციო საიმედოობის, ეკოლოგიური უსაფრთხოებისა და რისკის საკვლევი პრობლემა კომპლექსურია და იგი შედგება რიგი ქვეპრობლემებისაგან, რომელთა გადასაწყვეტად რეკომენდებულია გამოყენებულ იქნას სისტემური მიდგომა. ნახ.-ზე მოყვანილია ტექნოგენური რისკის ანალიზის კონცეპტუალური საფუძველი, წარმოდგენილი ბლოკ-სქემის სახით (ნახ. 4.3).

ამავე დროს, R რისკად მოიაზრება კონსტრუქციული H რისკის და Y ზარალის ნამრავლი,  $(R=H \cdot Y)$  რომელიც გამოწვეულია განსახილველი კონსტრუქციის რღვევით, ანუ თუ აღვიღო ექნება რამდენიმე  $i$  არასასურველ მოვლენას სხვადასხვა  $H_i$  ალბათობითა და მათი შესაბამისი  $Y_i$  ზარალით [59]:

$$R = \sum H_i Y_i, \quad (4.2)$$

კონსტრუქციის მდგომარეობის ამსახველი X შემთხვევითი პროცესის ალბათობის გამოსვლას  $\Omega$  დასაშვები მდგომარეობების არედან რომელიც ჩაიწერება  $g(x)=0$  ზღვრული მდგომარეობის განტოლებით, ეწოდება კონსტრუქციული რისკი [59]:

$$H(t) = 1 - P\{X(t) \in \Omega; t \in \{t_k(t)\}\}, \quad (4.3)$$

სადაც  $t_k$  - კონსტრუქციის კონტროლის დროა, მაშინ T დარჩენილი დროის დანიშნის გადაწყვეტილების წესი, რიგითი კონტროლის ან ინსპექტირების დროის მიხედვით, შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი უტოლობის სახით:

$$H(t_k + T | t_k) < H_x, \quad (4.4)$$

სადაც  $H_x$  არის კონსტრუქციული რისკის ზღვრულად დასაშვები სიდიდე.

აღსანიშნავია, რომ რეალური სისტემების ელემენტ-ნაგებობებისა და მოწყობილობების როგორც ფუნქციონირების ხარისხის მახასიათებელი პარამეტრების (საექსპლუატაციო საიმედოობა, უსაფრთხოება, რისკი), ასევე მასალების მახასიათებელი პარამეტრები კომპლექსურად წარმოდგენილ უნდა იქნეს ალბათური შემთხვევითი სიდიდეების სახით, რო-

მელთა განაწილების კანონები უნდა დადგინდეს მაკროექსპერიმენტების ჩატარებით. ამ შემთხვევაში კონსტრუქციების დატვირთვის მონაცემები მოგვცემს ზღვრულად დასაშვები დატვირთვების, როგორც  $t$  დროის ფუნქციის გათვალისწინების საშუალებას. ამ მიზნით მიზანშეწონილი იქნება ალბათობის თეორიის მათემატიკური აპარატის გამოყენება, კერძოდ, მონტე-კარლოს სტატისტიკური გამოცდის მეთოდი, რომელიც საკვლევი პრობლემის გადაწყვეტის საკმარის საფუძველს იძლევა.

## ღასკვნა

ნაშრომში სისტემური მიდგომის საფუძველზე გადაწყვეტილია საინჟინრო ამოცანა “ნავთობ- და ცხიმშემცველი ჩამდინარი წყლების გაწმენდის ეფექტური მეთოდის შემუშავება აქტიური გამფილტრავი ქიმიური მასალების გამოყენებით” კერძოდ:

1. საკვლევი პრობლემა ადამიანთა ჯანმრთელობის, ეკოლოგიური უსაფრთხოებისა და გარემოს დაცვის განხრით, ეროვნული უსაფრთხოების უზრუნველყოფის საინჟინრო ამოცანათა კლასს განეკუთვნება, რის გამოც მისი გადაწყვეტა აქტუალური და დროულია.

2. შემუშავდა ნავთობ- და ცხიმშემცველი პროდუქტებით დაბინძურებული სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების გაწმენდის ეფექტური მეთოდი, რომელიც ემყარება ქიმიური ადსორბენტების სამეცნიერო-ექსპერიმენტულ კვლევებს, კერძოდ:

– ადსორბენტების (კლინოპტილოლიტი, ორდენიტი, შაბაზიტი, ერიონიტი და სხვ.) ჯგუფიდან ნავთობ- და ცხიმშემცველი ჩამდინარი წყლების გასაწმენდად სამეცნიერო-ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე შეირჩა აქტიურ გამფილტრავ ქიმიურ მასალად თერმულად დამუშავებული (აფუებული) პერლიტი;

– სამეცნიერო-ექსპერიმენტული კვლევებით დადგინდა აღნიშნული სახის ჩამდინარი წყლების გაწმენდაში პერლიტის მასალის გამოყენების მაღალეფექტურობა, რის გამოც ეს მასალა რეკომენდებულ იქნა ავტოსამრეცხაოების და საზოგადოებრივი კვების ობიექტების წყლების გასაწმენდად წყალარინების ქსელებში ჩაშვებამდე.

3. სამეცნიერო-ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე დასაბუთდა ქიმიური მასალის – პერლიტის გამოყენება, ხელოვნურად აღებული მანქანის ზეთითა და თხევადი ცხიმით დაბინძურებული წყლების გასაწმენდად:

– სტატისტიკურ სარწმუნოებაზე დასაბუთდა ექსპერიმენტულ დაკვირვებათა ამონაკრების ექსტრემალური მნიშვნელობების გენერალური განაწილებისადმი მათი მიკუთვნებადობის ხარისხი.

– საკვლევი ამონაკრებების სტატისტიკური დამუშავების საფუძველზე შედგენილ იქნა სარწმუნო რეგრესიული მოდელები, რომლებიც

ასახავენ პერლიტის გამოყენების შესაძლებლობას ჩამდინარი წყლების გამფილტრავ მასალად სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტებისათვის.

4. შემუშავებულია ჩამდინარი წყლების დაბინძურების ხარისხის შეფასებისა და პროგნოზირების დესკრიფციული (აღწერითი) ტიპის მოდელები ზედაპირულ წყალსატევებში (მდინარეები, ტბები და ა.შ) ჩაშვების შემთხვევაში ევროსაბჭოს (91/27 EEC) მოთხოვნების შესაბამისად ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციების მიხედვით.

5. შემუშავებულია უნარჩუნო ტექნოლოგია ნავთობ – და ცხიმშემცველი პროდუქტებით დაბინძურებული ჩამდინარი წყლების რეგენერაცია – უტილიზაციის საკითხებში, კერძოდ:

– რეკომენდებულია ნავთობპროდუქტებით დაბინძურებულ ჩამდინარ წყლებში არსებული შეწონილი ნაწილაკებით გაჯერებული (დაჭერილი) პერლიტის შრის მასის გამოყენება ასფალტობეტონებში (მსუბუქი სახის გადახურვის ფილებში, შენობათა ტიხრებში და სხვ.) გამოსაყენებლად;

– რეკომენდებულია ცხიმშემცველი პროდუქტებით დაბინძურებულ ჩამდინარ წყლებში არსებული შეწონილი ნაწილაკებით გაჯერებული (დაჭერილი) ცხიმის ცხელ წყალში პირველადი დაღობვა, ამოტივტივებული ცხიმის მასის დაჭერა და გადამუშავება ბიორეაქტორში ეკოლოგიურად სუფთა საწვავი გაზი მეთანისა და სასოფლო – სამეურნეო დანიშნულების სასუქების მისაღებად;

6. განსაზღვრულია 1მ<sup>3</sup> ნავთობ – და ცხიმშემცველი პროდუქტებით დაბინძურებული ჩამდინარი წყლის გაწმენდის დაყვანილი ღირებულება აფუებული პერლიტის გამფილტრავი მასალის მიხედვით, რომელიც ამ წყლების გაწმენდის სხვა ხერხებთან (ფლოტაცია, ოზონირება და სხვ.) შედარებით ეკონომიური აღმოჩნდა 1.56-2.2 – ჯერ, ამავე დროს დისერტანტის მიერ შემოთავაზებული გამწმენდი მოწყობილობის მონტაჟი ლოკალურად მოხერხებულია ავტოსამრეცხაოების, რესტორნების და სხვა ობიექტების ჩამდინარი წყლების მიმღებ საკანალიზაციო ჭებში, რაც სხვა გამწმენდი ნაგებობების ჩანაცვლებით ვერ ხერხდება მათი დიდი გაბარიტული ზომების გამო.

7. შემოწმდა ჰიპოთეზა, რომლის თანახმად მანქანის სითხე და თხევად ცხიმზე ექსპერიმენტულად დაკვირვებულ მონაცემთა მიხედვით

შედგენილი ზრდადი რანჟირებული რიგი ( $n=24$ ), 5%-იანი სტატისტიკური სარწმუნოებით მიეკუთვნება ერთიან გენერალურ რიგს და ვან-დერ-ვარდენის არაპარამეტრული სტატისტიკის  $X$  კრიტერიუმის შესაბამისად განაწილებულია მიახლოებით ნორმალური კანონით (კერძოდ, მანქანის ზეთისათვის -  $\sum \psi[R/(N+1) = X_{\text{ფაქტ}} = 3,47 < X_{\text{სტ}} = 4,68]$  და თხევადი ცხიმისათვის -  $\sum \psi[R/(N+1) = X_{\text{ფაქტ}} = 4,5 < X_{\text{სტ}} = 4,6]$ ), რაც ჩატარებული ექსპერიმენტული დაკვირვებების საიჟინრო გამოყენების მისაღებ სარწმუნოებაზე მეტყველებს.

8. შემუშავებულ ღონისძიებათა კომპლექსის განხორციელებით ავტოსამრეცხაოებსა და სხვა საზოგადოებრივი კვების ობიექტებზე მნიშვნელოვნად გაუმჯობესდება საქართველოს ქალაქების ჩამდინარი წყლების ხარისხი წყალსატევებში (მდინარეები, ტბები და სხვ.) მათ ჩაშვებამდე (ქ. თბილისის პირობებში კი მიიღწევა გარდაბნის ჩამდინარი წყლების გამწმენდი სადგურის მუშაობის რეგლამენტისა და მდ. მტკვრის ეკოსისტემის გაუმჯობესება).

## ლიტერატურა

1. Проекты развития инфраструктуры города. Технологические аспекты решения экологических проблем городской среды. Сборник статей. Выпуск 1. М. Прима-Пресс – М., 2001, 233 с.
2. Зацепин В.Н., Шигорин Г.Г., Зацепина М.В. Канализация. Л., Стройиздат. 1976, 272 с.
3. Трифонова Т.А., Селиванова Н.В., Мищенко Н.В. Прикладная экология. М., Традиция. 2005.
4. Яковлев С.В., Ласков Ю.М. Канализация. М., Стройиздат. 1987. 319 с.
5. ზ. ციხელაშვილი, ნ. მახარობლიძე, ნ. მჭედლიშვილი, ი. ჩხარტიშვილი. ინფორმაციული ტექნოლოგიები მართვაში. ჩამდინარი წყლების მოხსენებათა კრებული, თბილისი 2007, 164-167 გვ.
6. Махароблидзе Н.Г. Устройство очистки нефте- и жиросодержащих хозяйственно-бытовых сточных вод для использования в городских автомойках и объектах общественного питания. Georgian engineering news. N2, 2007. С. 101-104.
7. ზ. ციხელაშვილი, გ. ზაკუტაშვილი, ნ. მახარობლიძე. წყალმომარაგება-წყალარინების საინჟინრო სისტემების ფუნქციონირების საექსპლუატაციო საიმედოობის, უსაფრთხოებისა და რისკის პრობლემების შესახებ. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ჰიდროინჟინერია“. 4(4) 2007. თბილისი.
8. ჟ. ბრეგვაძე, მ. ნათიძე, ზ. მამულაშვილი. წყლის ქიმია და მიკრობიოლოგია. თბილისი 1987.
9. Возная Н.Ф. Химия воды и микробиология. М., Высшая школа. 1979.
10. Максимовский Н.С. Очистка сточных вод. М., МКХ РСФСР, 1961.
11. Глинка Н.Л. Общая химия. Л., Химия. 1978.
12. Карелин Я.А., Репин Б.А. Биохимическая очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности. М., Пищевая промышленность, 1974.
13. Линевиц С.Н. Очистка природных источников вод. Новочеркасск, НПИ, 1979.
14. Охрана окружающей среды. Л., Судостроение, 1978.
15. Глинка Н.Л. Общая химия. Л., Химия. 308 с.

16. Freundlich N., On adsorption in Solutions-Zeitschrift B. Phys Cren Bd. 58N 4 1907 p. 385-471.
17. Freundlich N. The theory of adsorption chom Jnd Kottoide U3 1909. p. 212-220.
18. Langmuir J. The adsorption of gases on plane surfaces glass nion and platinum.
19. Бранауэр С.А. Адсорбция паров и газов – М.: Издат. МТ, 1948. 220 с.
20. Цицишвили Г.В., Андроникашвили Т.Г., Киров Г.Н., Филизова Л.Д. Природные цеолиты. М., Химия. 1985.
21. Смит А.Дж. Химия цеолитов и катализ на цеолитах. Пер. с англ. М., Мир, 1980, т.1, с. 11-103.
22. Barrer R.M. Zeolites and Clay Minerals as Sorbents and Molecylar Sieves. Academic Pressa. 1978, p. 497.
23. Брек В. Цеолитовые молекулярные сита. Пер. с англ. М., Мир, 1976.
24. Литтл Л. Инфракрасные спектры адсорбированных молекул. М., Мир, 1969, с. 514.
25. Киселев А.В., Личин В.И. Инфракрасные спектры поверхностных соединений и адсорбированных веществ. М., Наука, 1972, с. 495.
26. Юхневич Г.В. и др. Геохимия. 1961, №10, с. 849-954.
27. Белицкий И.А., Голубева Г.А. Материалы генет минералогии. 1972, т. 7, с. 310.
28. Чарквиани М.К., Цицишвили Г.В., Цинцкаладзе Г.П. Природные цеолиты. Тбилиси, Мецниереба, 1979. с. 259-263.
29. Лурье Ю.Ю., Рыбникова А.И. Химический анализ производственных сточных вод. М., Химия, 1974.
30. Лакин Г.Ф. Биометрия. М., Высшая школа, 1990, с. 345.
31. Епанечников В.А., Цветков А.Н. Справочник по прикладным программам для микро калькуляторов. М., Финансы и статистика, 1988, 317 с.
32. Смоляк С.А., Тимаренко Б.П. Устойчивые методы оценивания. М., Статистика, 1980, с. 206.
33. Математика в социологии. Моделирование и обработка информации. Редакторы: А. Аганбегян, Х. Блейлок и др. Перевод в английского Л.Б. Черного. М., Мир. 1977, с. 542.

34. Чиченев Н.А. Автоматизация экспериментальных исследований. М., Металлургия, 1983, с. 255.
35. Саркисян Ч.А., Каспин В.И. и др. Теория прогнозирования и принятия решений. М., Высшая школа, 1977, с. 344.
36. Громько Г.Л. Статистика. М., 1976.
37. Бигель Дж. Управление производством количественный анализ. Перевод с английского Л.Г. Дубицкого. М., Мир, 1973, с. 299.
38. Рубинштейн Ю.Б., Волков Л.А. Математические методы в обогащении полезных ископаемых. М., Недра, 1987, с. 289.
39. Каждан А.Б., Гусков О.И. Математические методы в геологии. М., Недра, 1990, с. 249.
40. Мюллер П., Нойман П., Шторм Р. Таблицы по математической статистике. М., Финансы и статистика, 1982, с. 266.
41. Шараф М.А., Иллман Р., Ковальски Б.Р. Хемометрика. Перевод с английского А.Н. Мариничева. Л., Химия, 1989, с. 261.
42. Хруцкий Е.А., Хазанович Э.С., Семенов А.И. Проблемы эффективности принятия решений. М., Недра, 1983, с. 300.
43. Исследование операций. В 2-х томах, т. 2 – Модели и применения. М., Мир, 1981, с. 662.
44. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. М., Высшая школа, 1985, с. 325.
45. Черкинский С.Н. Санитарные условия спуска сточных вод в водоемы. М., Стройздат, 1977, с. 185.
46. Беспмятников Г.Н., Коротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Справочник. Л., Химия. 1985, с. 528.
47. Исследование операций. В 2-х томах, Модели и применения. Под редакцией Дж. Моудера, С. Элмаграби. Перевод с английского. М., Мир, 1981, с. 677.
48. Колинина Э.В., Лапина А.Г. и др. Оптимизация качества. Слогинные продукты и процессы. М., Химия, 1989, с. 256.
49. ი. ციხელაშვილი, ა. ციხელაშვილი, მ. მჭედლოძე.  
წყალმომარაგების ზედაპირული წყაროების დაბინძურების

ხარისხობრივი შეფასება-პროგნოზირება. ეკოლოგიის პრობლემები, ტომი IV, თბილისი 2006, გვ. 173-197.

50. Владимиров В.А., Измалков В.И. Катастрофы и экология. М.: 2000Б с. 380.

51. Проекты развития инфраструктуры города. Выпуск 1. Технологические аспекты развития экологических проблем городской среды. Сборник статей. М.: Прима-Пресс-М., 2001, с. 233.

52. შ. ციხელაშვილი, ი. ციხელაშვილი, ზ. ციხელაშვილი, ბ. ჩხენკელი, ნ. ჩხეიძე. სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების გასაწმენდი მოწყობილობა. საქართველო, ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი „საქპატენტის“ მიერ გაცემული პატენტი სასარგებლო მოდელზე – U1299, ძალაშია 2006.02.15-დან.

53. შ. ციხელაშვილი, ი. ციხელაშვილი, ბ. ჩხენკელი, ბ. კაკუშაძე. სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების გასაწმენდი მოწყობილობა და მისი გამოყენების შესაძლებლობა ქალაქის ავტოსამრეცხაოებსა და საზოგადოებრივი კვების ობიექტებზე. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“ №3, გვ. 87-93.

54. Яковлев С.В., Карелин Я.А. и др. Очистка производственных сточных вод. М., Стройиздат, 1979, с. 316.

55. Попкович Г.С., Кузьмин А.А. Автоматизация систем водоснабжения и канализации. М., Стройиздат, 1983, с. 146.

56. Галямов М.Н., Олифер С.Л., Султанова Л.Г. Применение ЭВМ в дабиче нефти. М., НедраБ 1982, с. 114.

57. Ласков Ю.М., Воронов Ю.В., Калицун В.И. Примеры расчетов канализационных сооружений. М., Стройиздат, 1987, с. 254.

58. Оборудование водопроводно-канализационных сооружений. Под редакцией инж. А.С. Москвитина. М., Стройиздат, 1979, с. 430.

59. Каширский В.А., Липатов Н.С., Орлов Я.М. Изыскания для строительства сооружений водоснабжения и канализации. М., Литературы по строительству, 1971, с. 350.

60. ი. გეგელაშვილი, ე. ნიჟარაძე. სამრეწველო საწარმოთა კანალიზება. თბილისი, 1987, გვ. 148.

61. Климиашвили Л.Д. Методологические основы анализа, оценки и прогнозирования надежности систем водоснабжения. Монография. Тбилиси: Технический университет, 2004.

62. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1990, с. 448.

63. Белов П.Г. Теоретические основы системной инженерии безопасности. М.: ГНТП «Безопасность», 1996.

64. Гехман А.Ф., Зайнетдинов А.С. Расчет, конструирование и эксплуатация трубопроводов в сейсмических районах. М., Стройиздат, 1988, с. 180.

65. Махутов Н.А., Шокин Ю.И., и др. Задачи механики катастроф и безопасности технических систем. Препринт №10, Красноярск: Вычислительный центр СО АН СССР, 1991.

66. Зацепин В.Н., Шигорин Г.Г., Зацепина М.В. Канализация. Л., Стройиздат, 1976, с. 269.

67. ნ. მახარობლიძე, ნ. მუმლაძე, გ. გურგენიძე, ზ. მამაცაშვილი, დ. ბერაია, გ. ზაკუტაშვილი. სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარი წყლების დაბინძურების ხარისხის შეფასებისა და პროგნოზირების დესკრიფციული ტიპის მოდელების აგება. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“, თბილისი, №2(5), 2007, გვ. 37-40.

68. Лакин Г.Ф. Биометрия. М., Высшая школа, 1990, с. 128-134.